JAMES JEANS

L'UNIVERSO MISTERIOSO

Traduzione dall'inglese e nota introduttiva di

G. GENTILE NUDI

Libero docente di fisica teorica

TREVES - TRECCANI - TUMMINELLI, EDITORI
MILANO – ROMA

INDICE

NOTA DEL TRADUTTORE

In Italia non si seguono, in generale, con molto interesse i progressi e i dibattiti sulle questioni propriamente scientifiche.

E' lontano dal nostro carattere l'attribuire un valore eccessivo a quella facile metafisica che all'estero si suol fare, molto spesso, intorno ai massimi sistemi scientifici.

Ma questo non significa che l'uomo colto non debba interessarsi dei problemi, che spontaneamente sorgono via via dall'osservazione e dalle discussioni dei fatti naturali: non solo potrebbe egli formarsi un'idea completamente errata sulla fisica e sui fisici, ma correrebbe il rischio di rimanere tagliato fuori dalle grandi correnti della cultura moderna. Perchè, come dice anche il Jeans e come è opinione dei più, la nuova fisica è destinata ad esercitare una forte influenza sulla cultura, e a portare ad una revisione completa di antiche posizioni spirituali.

Per questa ragione noi abbiamo pensato che fosse utile tradurre il libro d'un grande scienziato inglese, il Jeans; che con questo lavoro si ricollega alla

grande tradizione dei filosofi empiristi inglesi: il suo, se non altro, è un documento della cultura e del pensiero moderno di quella Nazione; pensiero costantemente informato ad un sano realismo.

Quanto alle considerazioni che il Jeans fa sullo stato attuale della scienza, potrebbe osservarsi che queste discussioni, per lo meno finchè rimangono sul terreno filosofico, non hanno importanza per la scienza, nè valgono a farla progredire.

Ma chi parla così, presuppone una scienza in astratto, che non è mai realmente esistita, e dimentica gli uomini, che fanno questa scienza e in essa cercano i motivi ideali della loro esistenza: la scienza per essi diventa una parte della loro umanità.

Tanto più che, in questi ultimi tempi, si è assistito nella Fisica ad un ampio lavoro critico di revisione dei principi, dovuto principalmente all'opera di Bohr e della sua scuola. Lavoro che ha inteso a mettere in chiaro i rapporti fra l'osservatore e l'esperienza che egli fa; tra la teoria e i presupposti astratti — p. e. uno spazio e un tempo assoluti ed eterni — che lo scienziato volta per volta è inclinato a fare.

Questa corrente di studi ha portato a un concetto della realtà, più vicino al pensiero filosofico moderno, con tutte le sue difficoltà della interna dialettica tra soggetto ed oggetto, tra pensiero astratto e pensiero concreto.

Il Jeans vive queste difficoltà, che egli spesso è condotto a superare più per il suo sano intuito scientifico, che per la forza del suo ragionamento.

Se il lettore italiano da questo libro ritrarrà un'idea più diretta del mondo spirituale in cui si vive nella scienza d'oggi, la nostra umile fatica di traduttore sarà largamente ricompensata.

G. Gentile Nudi

PREFAZIONE

Il presente libro contiene lo sviluppo delle lezioni tenute all'università di Cambridge nel novembre 1930.

E' largamente diffusa l'opinione che il nuovo pensiero dell'astronomia e della fisica moderna sia destinato a produrre un cambiamento immenso nella nostra conoscenza dell'universo come tale, e nella nostra opinione circa il significato della vita umana.

La domanda, in ultima analisi, è da porsi in una discussione filosofica, ma prima che i filosofi abbiano diritto alla parola, deve essere prima interrogata la scienza, per dire quali sono i fatti accertati e quali le ipotesi provvisorie.

Allora, e solamente allora, la discussione può leggittimamente passare nel dominio dei filosofi.

Con simili intendimenti, io ho scritto il presente libro, assillato da dubbi frequenti come potessi giustificare un contributo al già molto che è stato scritto su questo argomento. Io non posso pretendere per me alcuna speciale qualifica al di fuori della posizione, proverbialmente vantaggiosa, del puro osservato-

re; io non sono un filosofo nè per abitudine nè per attitudine, e per molti anni la mia opera scientifica è rimasta al di fuori dell'arena delle teorie fisiche contendenti.

I primi quattro capitoli, che formano la parte principale del libro, contengono brevi discussioni, condotte su una linea molto larga, di quelle questioni scientifiche, che mi sembra siano d'interesse e provvedano materiale utile per la discussione dei più alti problemi filosofici. Per quanto è stato possibile ho cercato di evitare ripetizioni dal libro, *L'universo intorno a noi;* così io spero che il presente sia letto come un seguito di quello. Ma un'eccezione è stata fatta in favore del materiale che è essenziale per gli argomenti di maggior rilievo; di modo che il presente libro è completo in sè stesso. L'ultimo capitolo sta a un altro livello. Ciascuno può reclamare il diritto di avanzare le proprie conclusioni sui fatti presentati dalla scienza moderna. Questo capitolo contiene solamente l'interpretazione che io, straniero nel regno del pensiero filosofico, sono incline a dare ai fatti scientifici e alle ipotesi discusse nella parte principale dell'opera.

Altri potrà essere di parere diverso. Il libro è stato scritto per questo.

Dorking, 1930.

PREFAZIONE

ALLA SECONDA EDIZIONE

Nel preparare una seconda edizione, ho cercato di mettere al corrente la materia scientifica dei primi quattro capitoli, e di rimuovere ogni ambiguità. Ho visto con dispiacere che certi passi nel libro originale si sono prestati a malintesi e a false interpretazioni, e sempre sono stati citati erroneamente. Alcuni di questi passi ora sono stati soppressi, altri riscritti, altri ampliati. Qui e lì paragrafi nuovi, all'occorrenza intere pagine, sono stati aggiunti nella speranza di rendere il tutto più chiaro.

Dorking, 1 luglio 1931.

J. H. Jeans

E adesso, io dico, lasciami mostrare con un esempio come la nostra natura è illuminata o non è illuminata! Immagina di vedere un'abitazione in caverna, sottoterra, che ha verso la luce aperto l'ingresso, largo per tutta l'ampiezza della caverna; e in essa stanno, fino dalla fanciullezza loro, uomini incatenati alle gambe e al collo, sì da dover rimanere fermi lì e vedere soltanto dinnanzi a loro, ma posti dalle catene nell'impossibilità di girare il capo; e in alto e lungi arde una luce di fuoco alle loro spalle, e tra il fuoco e i prigionieri sale una strada, nella quale è costruito un muricciolo, come i ripari che stanno tra i burattinai e il pubblico, al di sopra de' quali dan saggio de' loro prodigi. — Vedo, disse. — Vedi adunque lungo il muricciolo passare uomini che portano suppellettili d'ogni sorta, le quali oltrepassano il muricciolo, e statue e animali di pietra e di legno e d'ogni specie, manufatti; e, com'è naturale, alcuni di quelli che portano questi oggetti parlano, altri tacciono. — Strana immagine, disse, e strani prigionieri. — Rassomigliano a noi, ripresi io. Ciascuno di questi, anzitutto, credi che veda altro se non le ombre di sè e degli altri proiettate dal fuoco sulla parete dirimpetto a loro nella spelonca? — Come mai potrebbero vedere altro, disse, dacchè si trovano costretti a tenere immobile la testa per tutta la vita? — E poi? non vedranno parimenti l'ombra sola anche degli altri oggetti portati presso al muro? — Sì.

Per essi, io dico, il vero non sarà altro letteralmente che l'ombra delle immagini.

(PLATONE, *Repubblica*, VII).

Capitolo I

IL SOLE MORENTE

POCHE stelle sono conosciute che sono poco più grandi della Terra, ma la maggioranza son così grandi che centinaia di migliaia di Terre potrebbero essere ammassate insieme, entro ciascuna di quelle, e rimarrebbe spazio ancóra; qua e là ci troviamo innanzi a una stella gigante, grande abbastanza da contenere milioni e milioni di Terre. E il numero totale di stelle nell'universo è probabilmente qualcosa di simile al numero di granuli di sabbia su tutte le spiaggie del mondo. Tale è la piccolezza della nostra sede, misurata al paragone con la sostanza totale dell'Universo.

Questa vasta moltitudine di stelle vaga per lo spazio. Un piccolo gruppo viaggia in compagnia, ma la maggioranza è di viaggiatori solitari. Ed essi vanno per un Universo così spazioso che è un evento di inimmaginabile rarità per una stella di andare comunque vicino ad un'altra stella. Per la maggior parte, ognuna di esse viaggia in uno splendido isolamento, come un bastimento su di un oceano deserto. In un modello a scala, in cui le stelle fossero i bastimenti, un bastimento, in media, sarebbe ben più che un mi-

lione di miglia [1]) lontano dal più vicino; quindi è facile immaginare che un bastimento si trovi raramente alla distanza di saluto alla voce da un altro.

Noi vogliamo, nondimeno, ammettere che un due mila milioni di anni fa questo raro evento abbia avuto luogo, e che a una seconda stella, viaggiando alla cieca per lo spazio, sia accaduto di arrivare a simile distanza dal Sole. Proprio come il Sole e la Luna innalzano maree, così questa seconda stella ha sollevato delle maree alla superficie del Sole. Ma queste saranno state molto differenti dalle ben piccole maree che la piccola massa della Luna produce nei nostri oceani. Una vasta onda di marea deve aver viaggiato alla superficie del Sole, formando, in fine, montagne di altezza prodigiosa, che debbono essersi innalzate sempre più in alto, perchè la causa perturbatrice diveniva sempre più vicina. E prima che la seconda stella avesse cominciato ad allontanarsi, la sua attrazione divenne così potente che questa montagna si è spezzata e ha gettato fuori frammenti minuscoli, come la cresta di un'onda perde spruzzi di schiuma. Questi piccoli frammenti, d'allora in poi, si sono messi a girare intorno al Sole, il loro padre. Essi costituiscono i pianeti, grandi e piccoli. Il Sole e le altre stelle, che noi vediamo in cielo, sono

---

[1]) Noi manterremo in tutto il libro le unità di lunghezza inglesi, e ricordiamo sin d'adesso che: 1 miglio = 1,609,34 metri = 1760 yards
1 yard = 91,44 cm
1 piede = 30,48 cm
1 pollice = 2,54 cm (N. d. T.)

tutte intensamente calde, troppo calde per la vita, per potere creare o mantenere un essere vivente sopra di esse. Quindi, senza alcun dubbio, fu su frammenti espulsi del Sole, dopo che furon proiettati fuori, che sorse la vita.

Gradualmente si sono raffreddati, finchè adesso ben poco è il calore intrinseco rimasto, derivando la maggior parte del loro calore dalla radiazione che versa il Sole sopra di essi.

Nel corso del tempo, noi non sappiamo come, quando e perchè uno di questi frammenti, via via raffreddandosi, ha dato origine alla vita. È sorta in organismi semplici, le cui capacità vitali consistevano in ben poco più che riprodursi e morire. Da questi umili inizi però sorge un torrente di vita, che avanzando attraverso sempre più grandi complessità, è culminato in esseri, in cui la vita si concentra nelle ambizioni e nelle emozioni, nei loro giudizi estetici e nelle religioni in cui le più grandi speranze sono contenute e le più alte aspirazioni.

Sebbene noi non possiamo parlare con certezza, mi sembra molto probabile che l'umanità abbia fatto il suo ingresso nella vita in un modo simile. Stando sul nostro frammento microscopico di un grano di sabbia, tentiamo di scoprire la natura e i fini dell'universo, che circonda la nostra sede, nel tempo e nello spazio.

La nostra prima impressione è qualcosa di simile al terrore. Noi troviamo l'universo terrificante per le sue vaste distanze, senza paragoni; terrificante per l'inconcepibile fuga del tempo, che rimpicciolisce l'umana storia a un batter di ciglia, terrificante a causa dell'estrema nostra solitudine, e per la piccolezza insignificante della nostra abitazione nello spazio — un milionesimo d'un grano di sabbia in tutto il mare di sabbia del mondo. Ma sovra ogni altro, noi troviamo terrificante l'universo perchè ci appare indifferente a vite simili alla nostra: emozioni, desideri e soddisfazione di ambizioni, arte e religione, tutto sembra essere egualmente estraneo al suo piano. Forse, anzi, potremmo dire, sembra che esso sia attivamente ostile a vita simile alla nostra. Per la massima parte, lo spazio vuoto è così freddo che tutta la vita in lui s'irrigidirebbe nel gelo; il più della materia nello spazio è così fredda da rendere impossibile la vita su di lei; lo spazio è traversato, e i corpi astronomici sono continuamente bombardati, da radiazioni di una gran quantità di specie, di cui alcune sono probabilmente contrarie, o addirittura distruggitrici della vita. In un tale universo noi siamo caduti, se non esattamente per sbaglio, almeno come risultato di quello che può attribuirsi a un accidente.

L'uso d'una tale parola non deve indurre un sentimento di meraviglia, che la Terra esista per un accidente una volta accaduto; poichè se il mondo cam-

mina da molto tempo, ogni concepibile accidente può essere accaduto.

È stato, credo, Huxley che ha detto che sei scimmie messesi a battere sui tasti di una macchina da scrivere per milioni di milioni di anni, sarebbero costrette col tempo, a scrivere tutti i libri del *British Museum*. Se esaminassimo l'ultima pagina che una di queste scimmie ha composto nel suo cieco strimpellare e trovassimo che le è accaduto di scrivere un sonetto di Shakespeare, noi dovremmo, a buon diritto, riguardare il fatto come un notevole accidente; ma se esaminassimo tutti i milioni di pagine che le scimmie hanno riempito in milioni di anni, noi potremmo essere sicuri di trovare un sonetto di Shakespeare in mezzo a quelle pagine che sono il prodotto di un giuoco cieco del caso. Nella stessa maniera, milioni di milioni di stelle vagando per lo spazio in milioni di milioni di anni possono andare incontro a ogni sorta d'accidenti, e produrre nel tempo un certo limitato numero di sistemi planetari. Però il numero di questi deve essere molto piccolo in confronto al numero totale delle stelle.

Questa rarità dei sistemi planetari è importante perchè, per quanto noi sappiamo, la vita, della specie da noi conosciuta sulla terra, può solamente originarsi su pianeti simili alla Terra. È necessario che ci siano condizioni fisiche opportune per il suo sor-

gere, la più importante delle quali è la temperatura alla quale le sostanze possono esistere allo stato liquido.

Le stelle stesse sono fuori causa perchè troppo calde. Noi possiamo pensare di esse come d'una collezione di fuochi dispersi per lo spazio, con una temperatura, nello spazio circostante, che è per lo più di quattro gradi sopra lo zero assoluto — circa 269 gradi Celsius sotto zero — ed è ancora più bassa nei vasti spazi al di là della via Lattea.

Lontano dai fuochi vi è questo freddo inimmaginabile di centinaia di gradi sotto zero; vicino ai fuochi vi è una temperatura di migliaia di gradi, nella quale tutti i solidi si liquefanno e i liquidi bollono.

La vita può solamente esistere dentro una zona temperata che circonda ognuno di questi fuochi e a una determinata distanza. Al di fuori di questa zona la vita gelerebbe, al di dentro si raccartoccerebbe. Con un calcolo approssimativo queste zone, in cui la vita è possibile, tutte sommate insieme, costituiscono meno di un milionesimo o d'un miliardesimo di tutto lo spazio. E dentro di esse, la vita deve essere un evento molto raro perchè è un accidente così poco frequente per un sole di lanciar fuori pianeti, come il nostro Sole ha fatto, che probabilmente solo una stella fra 100.000 ha un pianeta, che gli gira intorno, nella piccola zona in cui vivere è possibile. Appunto per queste ragioni, sembra incredibile che in

principio l'universo sia stato destinato a produrre vita come la nostra; se fosse così, sicuramente noi ci dovremmo aspettare di trovare una migliore proporzione tra la grandezza del meccanismo e l'importanza del prodotto. Al primo sguardo almeno, la vita sembra essere un sottoprodotto senza alcuna importanza; noi, viventi, siamo in qualche modo fuori della linea principale delle cause e degli effetti.

Noi non sappiamo quali opportune condizioni fisiche sono sufficienti in sè stesse a produrre la vita. Una scuola di pensatori ritiene che, raffreddandosi gradualmente la terra, era naturale, e invero quasi inevitabile, che la vita dovesse sorgere. Altri pensano che dopo che un primo accidente ha portato la Terra ad essere, un secondo era necessario a produrre la vita. I costituenti materiali delle particelle viventi sono atomi d'elementi chimici del tutto ordinari: carbone come lo troviamo nella fuliggine e nel nerofumo; idrogeno e ossigeno, come li troviamo nell'acqua; azoto, come quello che forma gran parte dell'atmosfera, e così via.

Ogni specie di atomi, necessari alla vita, dovevano già essere nella Terra, nata di fresco. A intervalli, a un gruppo di atomi poteva accadere di porsi nello stato in cui sono disposti nella cellula vivente. Infatti, dato un tempo sufficientemente lungo, si può ammettere per certo che le cose siano andate così, come era certo che le sei scimmie, dato un tempo sufficiente,

avrebbero composto un sonetto di Shakespeare. Ma sarebbero dunque una cellula vivente? In altre parole, è una cellula vivente puramente un gruppo di atomi disposti in certo modo fuor dall'ordinario, o è qualcosa di più? È solamente aggruppamento di atomi, o è atomi più vita? O, per mettere la questione sotto altra forma, potrebbe un chimico abbastanza abile creare la vita dagli atomi necessari, come un ragazzo può creare una macchina dal suo « meccano », e quindi farla andare?

Noi non conosciamo la risposta. Se la possedessimo, ci darebbe alcune indicazioni sulla questione se vi siano nello spazio altri mondi abitati come il nostro; e ciò dovrebbe avere la più grande influenza sulla nostra interpretazione del significato della vita; ciò potrebbe produrre una rivoluzione più grande che l'astronomia di Galileo o la biologia di Darwin.

Noi sappiamo, comunque, che mentre la materia vivente consiste di atomi ordinari, essa altresì contiene atomi che hanno una speciale capacità di coagularsi in grappoli straordinariamente lunghi o « molecole ». La maggior parte degli atomi non posseggono questa proprietà. Gli atomi di idrogeno e ossigeno, per esempio, possono combinarsi per formare molecole d'idrogeno (H_2 e H_3), di ossigeno o ozono (O_2, O_3), o d'acqua (H_2O), o di perossido di idrogeno (H_2, O_2), ma nessuna di queste combinazioni contiene più di quattro atomi. L'aggiunta di

azoto non cambia di molto la situazione; i composti di idrogeno, ossigeno e azoto contengono comparativamente pochi atomi. Ma l'ulteriore aggiunta del carbonio trasforma completamente il quadro; gli atomi di idrogeno, ossigeno, azoto e *carbonio* si combinano per formare molecole contenenti cento, mille e spesso diecimila atomi. I corpi viventi sono per la maggior parte composti di tali molecole. Sino ad un secolo fa, si credeva generalmente che una certa « forza vitale » fosse necessaria per produrre queste ed altre sostanze che entrano nella composizione del corpo vivente. Wöhler produsse allora l'urea ($CO(NH_2)_2$), che è un tipico composto animale, con i processi ordinari della sintesi chimica.

Altri costituenti della materia vivente seguirono in breve tempo. Oggi, uno dopo l'altro, fenomeni che erano attribuiti alla « forza vitale » sono attribuiti all'azione di ordinari processi di fisica e di chimica.

Sebbene il problema sia sempre lontano dalla soluzione, sta diventando sempre più probabile che quello che specialmente distingue la materia di corpi viventi è la presenza non d'una « forza vitale », ma la presenza, in unione sempre con altri atomi, del carbonio, elemento assolutamente comune, che forma con quegli atomi molecole eccezionalmente grandi.

Se è così, la vita esiste nell'universo solamente perchè l'atomo di carbonio possiede certe eccezionali proprietà. Forse il carbonio si può distinguere chi-

imicamente dagli altri, perchè forma qualcosa di intermedio tra un metallo e un metalloide, ma fino ad oggi niente, nella sua costituzione fisica, è conosciuto che possa render conto della sua speciale capacità a legare insieme altri atomi.

L'atomo di carbonio consiste di sei elettroni che girano intorno al nucleo che ad essi conviene, come sei pianeti che girano intorno al loro sole; sembra che differisca dai suoi vicini più prossimi, nella tavola degli elementi chimici, gli atomi di boro e azoto, solamente per avere un elettrone di più del primo e uno di meno dell'ultimo. Pure questa leggera differenza deve render conto, in ultimo appello, di tutta la differenza fra vita e non vita.

Senza dubbio, la ragione che l'atomo con sei elettroni possegga queste notevoli proprietà risiede altrove nelle ultime leggi di Natura, ma la fisica matematica non le ha ancora investigate.

Altri casi simili sono conosciuti in chimica. Il fenomeno del magnetismo permanente appare in alto grado nel ferro, e in grado minore nei suoi vicini, nikel e cobalto. Gli atomi di questi elementi hanno 26, 27 e 28 elettroni rispettivamente. Le proprietà magnetiche di tutti gli altri atomi sono quasi sempre trascurabili al paragone.

In una maniera o in un'altra, dunque, benchè la fisica teorica non abbia ancora spiegato come, il magnetismo dipende dalle peculiari proprietà di atomi

con 26, 27 e 28 elettroni, specialmente il primo. La radioattività presenta un terzo esempio, essendo confinata, con eccezioni insignificanti, in atomi aventi da 83 a 92 elettroni; di nuovo noi non sappiamo come. Così la chimica ci può solamente dire di porre la vita nella medesima categoria che il magnetismo e la radioattività.

L'universo è costruito così da operare secondo leggi determinate.

Come una conseguenza di queste leggi, atomi aventi certi definiti numeri d'elettroni, precisamente 6, 26 sino a 28, e 83 sino a 92, hanno certe speciali proprietà, che si esplicano rispettivamente nei fenomeni della vita, del magnetismo e della radioattività. Un onnipotente creatore non soggetto ad alcuna legge non sarà costretto alle leggi che prevalgono in questo universo; egli potrebbe aver preferito di costruire l'universo conformemente ad uno dei diversi e innumerevoli complessi di leggi. Se un'altra speciale serie di leggi fosse stata scelta, altri atomi speciali potrebbero avere altre proprietà speciali ad essi associate. Noi non possiamo dire ciò, sebbene sembri *a priori* inverosimile che un'altra radioattività, o magnetismo o *vita* potrebbe apparire tra essi. La chimica suggerisce che come il magnetismo e la radioattività, la vita può essere solamente una conseguenza accidentale di una speciale serie di leggi dalle quali l'universo presente è governato.

Potrebbe poi essere contestata la parola « accidentale ». Perchè accidentale, se il creatore dell'universo ha scelto una speciale serie di leggi proprio perchè questa conduce al sorgere della vita? Se questa insomma era la sua via di creare la vita?

Fintanto che noi pensiamo il creatore come un essere simile all'uomo, di potenza superiore, mosso solo da sentimenti e interessi simili ai nostri, non si può dire altro che, se vien postulato un tale creatore, nessun argomento può essere addotto dell'importanza di quello già assunto. Se, comunque, noi liberiamo la nostra mente da ogni traccia di antropomorfismo, allora non rimane alcuna ragione per supporre che le presenti leggi siano state scelte specialmente per creare la vita. È altrettanto probabile, per esempio, che esse siano state scelte per produrre magnetismo o radioattività — anzi più probabile, poichè, secondo tutte le apparenze, la fisica ha nell'universo una parte incomparabilmente maggiore della biologia. Da un punto di vista strettamente materiale, la insignificanza della vita sembrerebbe dover dissipare l'idea che essa formi lo speciale interesse del Grande Architetto dell'Universo.

Un'analogia banale potrebbe porre la situazione più in chiaro. Un marinaio con poca immaginativa, abituato a far nodi, potrebbe pensare che sarebbe impossibile attraversare l'oceano, se fare i nodi fosse impossibile. Adesso la possibilità di far nodi è limitata a

uno spazio a tre dimensioni; nessun nodo può essere annodato in uno spazio di 1, 2, 4, 5 o più dimensioni. Da questo fatto il nostro marinaio potrebbe concludere che un benigno creatore deve avere avuto i marinai sotto uno speciale patronato, e ha scelto questo spazio a tre dimensioni appunto perchè far nodi e attraversare l'oceano siano cose possibili nell'universo che Egli ha creato; in breve, lo spazio è di tre dimensioni perchè vi possano essere marinai. Questo e l'argomento su riferito sembrano essere allo stesso livello perchè la vita come un tutto e il far nodi sono allo stesso livello in rapporto alla loro importanza nell'universo. Nessuna delle due cose forma più che un'insignificante frazione dell'attività totale dell'universo materiale.

In tal modo sorprendente, dunque, per quanto la scienza ci può informare al presente, noi siamo venuti ad essere. E il nostro stupore è solamente accresciuto se tentiamo di passare dallo studio delle nostre origini a un tentativo di comprendere i fini della nostra esistenza, o a prevedere il destino che il fato ha in serbo per la nostra razza.

Una vita, della specie che noi conosciamo, può solamente esistere in condizioni convenienti di luce e di calore; noi esistiamo solamente perchè la Terra riceve quel tanto di radiazione solare che basta; si volga la bilancia in una delle due direzioni, di eccesso o difetto, e noi dobbiamo sparire dalla terra. E la situa-

zione, essenzialmente, è tale che molto facile è un cambiamento nella bilancia. L'uomo primitivo, vivente in zone temperate della terra, deve avere guardato l'età del ghiaccio scendere sulle sue case con qualcosa di simile al terrore: ogni anno i ghiacciai venivano sempre più avanti nelle valli; ogni inverno il sole sembrava meno capace di fornire il calore necessario alla vita. A lui come a noi l'universo deve essere sembrato ostile alla vita.

Noi, uomini di questi ultimi giorni, che viviamo nella regione temperata che circonda il sole, guardando nel futuro, vediamo la minaccia di un'età del ghiaccio di specie differente. Come Tantalo, che stava in un lago così profondo da potersi salvare soltanto a nuoto, era destinato a morire di sete, tale è la tragedia della nostra razza, destinata a morire di freddo, probabilmente, mentre la più grande parte della sostanza dell'universo rimane troppo calda per la vita. Il Sole, non ricevendo nessun contributo di calore dall'esterno, deve necessariamente emettere sempre meno della sua radiazione che produce la vita; e le regioni temperate dello spazio, in cui soltanto la vita può esistere, debbono stringersi sempre più intorno a lui. Così la nostra Terra, perchè potesse rimanere un soggiorno possibile per la vita, dovrebbe andare sempre più accosto al Sole.

Ma la scienza ci dice, che, lungi dal farle assumere un moto verso il centro, inesorabili leggi di-

TAVOLA I. LE PROFONDITA' DELLO SPAZIO

Un ammasso di nebulose nella « Chioma di Berenice ». Questa è una fotografia d'un pezzo di cielo, corrispondente a un'apertura angolare di un minuto di grado. La fotografia è stata presa con il più grande telescopio esistente (Monte Wilson). La maggioranza degli oggetti che si vedono sono nebulose, a tale distanza da noi che la luce impiega 50 milioni di anni per raggiungerci. Ciascuna nebulosa contiene alcune migliaia di milioni di stelle, o il materiale per la loro formazione. Circa due milioni di tali nebulose possono essere state fotografate in tutto, ed esistono forse milioni di milioni di altre stelle non osservabili con il nostro telescopio.

namiche la guideranno sempre più lontano dal Sole in freddo e tenebre maggiori.

E così, per quanto possiamo vedere, dovrà continuare finchè la vita sia gelata sulla Terra, dato che non accada che qualche collisione o cataclisma intervenga a distruggere più presto la vita con una morte più rapida.

Questa prospettiva non è peculiare della Terra; altri soli devono morire come il nostro, e se una vita c'è in un altro pianeta, essa deve sopportare la medesima ingloriosa morte.

La fisica come l'astronomia dice lo stesso. Indipendentemente da tutte le considerazioni astronomiche, il principio fisico generale, conosciuto come la seconda legge della termodinamica, stabilisce che vi è una fine dell'universo, una « morte del calore » in cui la totale energia dell'universo è uniformemente distribuita, e tutta la sostanza dell'universo è alla medesima temperatura. Questa temperatura sarà così bassa da rendere la vita impossibile. È cosa di poca importanza per quale particolare via questo stato finale si raggiunga: tutte le strade menano a Roma, e la fine del viaggio non può essere che la morte universale. Se così è, a che scopo la vita?

Per imbatterci, quasi per uno sbaglio, in un universo che apertamente non era destinato alla vita, e che, a tutte le apparenze, è o totalmente indifferente o addirittura ostile a lei; per stare inchiodati

su di un frammento d'un grano di sabbia finchè non si finisca congelati; per rappresentare una superba commedia — la nostra piccola ora — sul nostro piccolo palcoscenico, con la coscienza che le nostre aspirazioni sono tutte condannate al finale insuccesso, e che delle nostre gesta debba perire con la nostra razza anche il ricordo, come se non fossimo mai esistiti?

L'astronomia pone la domanda, ma io penso che alla fisica dobbiamo rivolgerci per avere una risposta. L'astronomia può dirci della disposizione attuale dell'universo, della sua vastità e vacuità, e della nostra insignificanza dentro di esso.

Ma noi dobbiamo cercare profondamente nella natura fondamentale delle cose, prima di trovare la risposta alla domanda.

E qui non è più il dominio dell'astronomia. Piuttosto troveremo che la nostra domanda penetra nel cuore della fisica moderna.

Capitolo II

IL NUOVO MONDO DELLA FISICA MODERNA

L'uomo primitivo deve aver trovato la natura singolarmente imbarazzante e intricata. Egli poteva aver fiducia che i fenomeni più semplici si ripetessero indefinitamente; un corpo senza sostegno cadeva inevitabilmente, una pietra nell'acqua andava al fondo, mentre un pezzo di legno galleggiava. Invece altri fenomeni più complicati non mostravano tale uniformità. Il fulmine colpiva un albero nella selva mentre il suo vicino di uguale grandezza e di simile sviluppo ne rimaneva illeso; un mese la Luna nuova portava il bel tempo, un altro il cattivo tempo.

Messo davanti ad un mondo naturale che, secondo tutte le apparenze, era capriccioso come lui, il primo impulso dell'uomo fu di creare la natura a sua immagine; attribuì l'apparente andamento disordinato e casuale dell'universo alle ire e alle passioni degli dei, o di spiriti inferiori, benefici o malefici. Solo dopo molto studio emerse il principio della causalità. Col tempo si scoprì che questo dominava tutta la natura inanimata: si trovò che una causa, che può essere completamente isolata nelle sue azioni, produceva in-

variabilmente il medesimo effetto. Quello che accadeva in un determinato istante non dipendeva da volontà estranee, ma seguiva inevitabilmente, per legge inesorabile, dallo stato di cose dell'istante precedente. E questo stato di cose era stato, a sua volta, inevitabilmente determinato da uno stato precedente, e così indefinitamente. Cosicchè il completo corso degli eventi era stato determinato inalterabilmente dallo stato nel quale il mondo si trovava al primo istante della sua storia; una volta fissato questo, la natura poteva muoversi lungo una via, verso una fine predestinata. In breve l'atto della creazione aveva creato non solo l'universo ma tutta la sua storia futura. L'uomo, è vero, si credeva una volta capace di alterare con la sua volontà il corso degli eventi, sebbene in questo egli era guidato da istinto piuttosto che da logica, scienza od esperienza; ma d'allora la legge di causalità spiegò tutti quegli eventi che l'uomo aveva precedentemente attribuito all'azione di esseri sovrannaturali. La conferma finale di questa legge come fondamentale principio della natura fu il trionfo del Seicento, il gran secolo di Galileo e di Newton. Apparizioni nel cielo furono dimostrate puro risultato di leggi universali di ottica; le comete che sino allora erano state riguardate come presagi di caduta d'imperi o morti di re, fu dimostrato che possedevano una traiettoria prescritta dalla legge universale della gravitazione. E scrisse Newton, « volere che tutti gli

altri fenomeni naturali potessero essere dedotti con un simile ragionamento da principi meccanici ».

Di qui un movimento per interpretare l'intero universo materiale come una macchina; movimento che ha guadagnato forza sino al suo culmine nell'ultima metà del secolo decimonono. Fu allora che Helmholtz dichiarò che: « Lo scopo finale di tutte le scienze naturali era di risolversi nella meccanica », e Lord Kelvin confessò che non poteva capire niente che non potesse rappresentarsi con un modello meccanico. Egli, come molti dei grandi scienziati del secolo decimonono, eccelse nella professione d'ingegnere; altri avrebbero fatto altrettanto, se l'avessero tentato. Era il tempo degl'ingegneri scienziati, la cui prima ambizione era di dare un modello di tutta la natura. Waterston, Maxwell e altri spiegavano le proprietà d'un gas come proprietà simili a quelle di una macchina. La macchina consisteva di una vasta moltitudine di minuscole, rotonde, liscie sfere, più rigide del più duro acciaio, volanti come una pioggia di palle su un campo di battaglia. Per esempio, la pressione d'un gas sarebbe causata dall'urto di particelle animate da forte velocità; essa è simile alla pressione della pioggia sul tetto d'una tenda.

Se il suono era trasmesso attraverso un gas, queste palle erano le messaggere.

Tentativi simili furono fatti per spiegare le proprietà dei liquidi e dei solidi con modelli meccanici, seb-

bene con considerevole minor successo, e così per la luce e la gravitazione, con nessun successo. Questa mancanza di successo non scosse minimamente la credenza che l'universo dovesse ammettere in ultima analisi una spiegazione puramente meccanica. Si sentì che solo sforzi più grandi fossero necessari, e tutta la natura inanimata, allo stato ultimo, si sarebbe rivelata come una macchina che funziona perfettamente.

E tutto questo ebbe un seguito nell'interpretazione della vita umana. Ogni estensione della legge di causalità e ogni successo della interpretazione meccanistica della natura, rendeva più difficile ammettere un libero arbitrio.

Se tutta la natura obbedisce alla legge di causalità, perchè dovrebbe esserne esente la vita? Da simili considerazioni sorsero le filosofie meccanicistiche del Sette e Ottocento, e la loro naturale reazione, la filosofia idealistica che successe loro. Sino al principio del secolo decimonono la vita era riguardata interamente al di fuori della natura inanimata e ciò non era in contrasto con le conoscenze scientifiche. Allora s'ebbe la scoperta che cellule viventi erano formate precisamente dagli stessi atomi chimici, costituenti della materia non vivente, e quindi che fossero, presumibilmente, governate da leggi naturali. Questo portò alla questione, come mai gli atomi particolari del nostro corpo e del nostro cervello dovessero essere formati, per es-

sere esenti dalla legge di causalità. Si cominciò allora non solo ad avanzare l'ipotesi, ma a sostenere con grande calore, che la vita stessa dovesse, in ultima analisi, mostrarsi, all'esperimento, d'indole meccanica.

La mente di un Newton, d'un Bach, o d'un Michelangelo, fu detto, differivano solamente in complessità da un torchio per la stampa, un fischietto o una sega a vapore; tutta la loro funzione consisteva nel rispondere esattamente agli stimoli che ricevevano dall'esterno. Quindi una tale credenza non lasciava alcun posto per l'operazione della scelta e del libero arbitrio, e rimuoveva tutte le basi della moralità. Paolo non scelse d'essere differente da Saul; egli non poteva a meno di essere differente; egli era mosso da una serie differente di stimoli esterni.

Una quasi caleidoscopica rivoluzione avvenne nel pensiero scientifico col volgere del secolo. I primi sperimentatori erano solamente capaci di studiare la materia in frammenti grandi abbastanza da averne una penetrazione diretta, senza l'aiuto di mezzi speciali: il frammento più minuto di materia con cui potevano sperimentare conteneva milioni di milioni di molecole. Pezzi di queste dimensioni si comportano indubbiamente in maniera meccanica, ma questo non dà alcuna garanzia che la singola molecola si comporti allo stesso modo; ognuno sa la grande

differenza che c'è tra il modo di comportarsi d'una folla e quello degl'individui che la compongono.

Alla fine del secolo decimonono divenne possibile studiare il comportamento di singole molecole, atomi ed elettroni. Il secolo decimonono aveva durato abbastanza perchè la scienza scoprisse che certi fenomeni, radiazione e gravitazione in particolare, deludevano tutti i tentativi fatti per una spiegazione puramente meccanica. Mentre i filosofi discutevano se potesse essere costruita una macchina, che riproducesse i pensieri di Newton, le emozioni di Bach, o l'ispirazione di Michelangelo, l'uomo medio della scienza si andava rapidamente convincendo, che nessuna macchina si poteva costruire, che riproducesse la luce d'una candela o la caduta d'una mela.

Ed ecco che negli ultimi mesi del secolo il professore Max Planck di Berlino propose un tentativo di spiegazione di certi fenomeni della radiazione, per cui tutti i tentativi erano falliti. Non solamente la sua spiegazione non era di natura meccanica; ma sembrò anzi impossibile metterla sulla linea della meccanica. Per questa ragione fu criticata, attaccata e persino messa in ridicolo. Ma ottenne un brillante successo, e in ultimo si è sviluppata nella moderna « teoria dei *quanti* » che forma uno dei principi dominanti della fisica moderna. Quindi, sebbene a quel tempo non sia sembrato così, pure questa teoria segna la fine del-

l'età meccanicistica della scienza, e l'aprirsi d'un'era nuova.

La teoria originale di Planck non andava più oltre del suggerire che la natura procede a scatti come le sfere d'un orologio. Ora, sebbene non proceda in modo continuo, un orologio è d'origine puramente meccanica, e segue assolutamente la legge di causalità. Einstein mostrò nel 1917 che la teoria fondata da Planck parve, a prima vista almeno, che producesse conseguenze più rivoluzionarie della pura discontinuità. Sembrò che detronizzasse la legge di causalità dalla posizione che sino allora aveva avuto come guida di tutti i fenomeni naturali. La vecchia scienza aveva con fiducia proclamato che la natura può seguire solo una via, segnata dal principio alla fine con una catena continua di cause ed effetti; lo stato A succede inevitabilmente allo stato B. Finora invece la nuova scienza è stata solamente capace di dire che lo stato A può essere seguito dallo stato B o C o D o da innumerevoli altri. Può essere, è vero, che B sia più probabile che C, D; si può sempre specificare la relativa probabilità degli stati B, C e D. Ma, appunto perchè è da parlarsi in termini di probabilità, non si può predire con certezza che stato seguirà a un altro. È una questione che giace sulle ginocchia degli dei, quali che essi siano.

Un esempio concreto spiegherà questo più chiaramente.

È risaputo che gli atomi di radio, o di altra sostanza radioattiva, si disintegrano in un atomo di piombo e in un atomo d'elio solamente per il fatto che trascorre un certo tempo. La legge che governa in che proporzione diminuisca il numero degli atomi di radio è molto notevole. La massa di radio diminuisce precisamente con la stessa legge d'una popolazione dove nessuno nasce, e c'è una proporzione uniforme nel numero di morti che è la stessa per l'individuo medio, *senza riguardo alla sua età*. O anche, questo numero di atomi decresce nella stessa maniera che il numero dei soldati d'un battaglione esposti a un tiro indiretto e assolutamente a caso. In breve la parola vecchiaia non significa nulla per un atomo di radio; muore non perchè ha vissuto la sua vita, ma piuttosto perchè in qualche modo il fato batte alla porta.

Per fare un esempio più concreto, supponiamo che la nostra stanza contenga 2000 atomi di radio. La scienza non può dire quanti di questi sopravviveranno da qui a un anno, può dirci soltanto la relativa probabilità in favore dei numeri 2000, 1999, 1998 e così via. In realtà, la più grande probabilità è in favore del numero 1999; con tutta probabilità, uno dei duemila atomi, e solamente uno, è destinato a spezzarsi, entro il prossimo anno.

Noi non sappiamo in quale maniera questo atomo particolare è scelto fra i 2000. Possiamo, in un primo tentativo fatto a caso, avanzare l'ipotesi che questo

sia l'atomo che, nell'anno che viene, sarà più colpito, o andrà nel posto più riscaldato, o no.

Eppure ciò non può essere perchè se i colpi o il calore possono disintegrare un atomo, potrebbero disintegrare anche l'altro 1999, e noi dovremmo essere in grado di ottenere la disintegrazione atomica soltanto per compressione o riscaldamento. Ogni fisico non crede che ciò sia possibile; ma piuttosto crede che ogni anno il fato batte alla porta d'un atomo tra i duemila di radio, e lo costringe a rompersi; questa è l'ipotesi della « disintegrazione spontanea » avanzata da Rutherford e da Soddy nel 1903.

La storia naturalmente si può ripetere, e un'altra volta ancora può trovarsi, alla luce d'una conoscenza più piena, un'apparente capricciosità della natura che sorga al di sopra dell'inevitabile operazione di causa ed effetto. Se noi parliamo in termini di probabilità nella vita ordinaria, noi diamo a divedere che la nostra conoscenza è incompleta; noi possiamo dire che sembra probabile che domani pioverà, mentre l'esperto metereologo, sapendo che una depressione va dall'Atlantico verso l'est, può predire con sicurezza che pioverà. Noi possiamo parlare di probabilità per un cavallo, mentre il proprietario sa che ha la gamba spezzata. Nella stessa maniera, l'appello della nuova fisica alla probabilità può semplicemente celare la sua ignoranza del vero meccanismo della natura.

Un esempio suggerirà come questo può essere.

Nei primi di questo secolo, Mc Lennan, Rutherford e altri hanno scoperto nell'atmosfera terrestre un nuovo tipo di radiazione, distinta per il suo alto potere di penetrazione nella materia solida. La luce ordinaria può penetrare per una frazione di pollice attraverso una materia opaca; noi possiamo proteggere i nostri visi dai raggi del Sole con un foglio di carta, o un foglio più sottile di metallo. I raggi X hanno un potere penetrante molto più grande; possono passare attraverso le nostre mani, o anche attraverso tutto il nostro corpo, così che il chirurgo può fotografare le nostre ossa. Al contrario, un metallo dello spessore d'una moneta li arresta completamente. Ma la radiazione scoperta da Mc Lennan e Rutherford può penetrare attraverso diverse centinaia di metri di piombo o di metallo di densità simile.

Noi adesso sappiamo che gran parte di questa radiazione, generalmente denominata « radiazione cosmica », ha la sua origine nello spazio esterno. Cade sulla Terra in grande quantità, e i suoi poteri distruttori sono immensi.

Ogni secondo essa spezza circa venti atomi in un centimetro cubico della nostra atmosfera, e milioni di atomi nei corpi nostri. E' stato suggerito che questa radiazione, cadendo su un germoplasma, può produrre quelle spasmodiche variazioni biologiche che la teoria moderna dell'evoluzione richiede; può es-

sere che sia stata la radiazione cosmica a cambiare le scimmie in uomini.

Alla stessa guisa, fu un tempo emessa l'ipotesi che il cadere della radiazione cosmica su atomi radioattivi fosse la causa della loro disintegrazione. I raggi cadono a caso, colpendo ora un atomo ora un altro, così che gli atomi muoiono come soldati esposti a un fuoco disordinato, e la legge che dice in che proporzione essi scompaiono sarebbe spiegata. L'ipotesi è stata dimostrata erronea con il semplice espediente di portare della materia radioattiva in una miniera. Così era completamente schermata dai raggi cosmici, eppure continuava a disintegrarsi nella stessa proporzione di prima.

Quest'ipotesi è fallita, ma probabilmente ci sono fisici che aspettano si trovi un altro agente fisico che rappresenti la parte del fato nella disintegrazione radioattiva. La media delle morti sarà naturalmente proporzionale all'intensità di questo agente. Ma altri fenomeni simili presentano difficoltà molto più grandi.

Fra questi c'è il fenomeno familiare dell'emissione della luce da un'ordinaria lampadina elettrica. L'essenziale è che un filamento caldo riceva energia da una dinamo e la scarichi come radiazione. Dentro il filamento, gli elettroni di milioni di atomi girano sulle loro orbite, in ogni istante saltando im-

provvisamente e per lo più discontinuamente da una orbita a un'altra, a volte emettendo, a volte assorbendo radiazione in questo processo. Nel 1917 Einstein investigò come poteva farsi la statistica di questi salti. Alcuni naturalmente sono causati dalla radiazione stessa e dal calore del filamento. Ma questi non sono sufficienti a render conto di tutta la radiazione emessa dal filamento. Einstein trovò che vi dovevano essere altri salti ancora, e questi dovevano avvenire spontaneamente, come nella disintegrazione dell'atomo di radio. In breve, apparve che anche qui deve essere invocato il caso. Adesso se qualche agente fisico rappresentasse la parte del fato in questo caso, la sua forza dovrebbe influire sull'intensità dell'emissione della radiazione da parte del filamento. Ma, per quanto ne sappiamo, l'intensità della radiazione dipende solamente da alcune costanti universali conosciute, che sono le stesse qui come nelle stelle più remote. E ciò sembra togliere ogni adito all'ipotesi d'un intervento d'un qualsiasi agente esterno.

Noi possiamo forse farci una qualche immagine della natura di queste spontanee disintegrazioni o salti, paragonando l'atomo a una partita di carte a quattro, che convengono d'interrompere il gioco appena è servita una mano in cui ciascun giocatore riceva una *suite* completa. Una stanza contenente milioni di simili partite può pensarsi rappresenti una massa di sostanza radioattiva. Allora si può dimostrare che il

numero di partite a carte decrescerà secondo l'esatta legge del processo radioattivo a una condizione, *che le carte siano mescolate bene tra un turno e l'altro.* Se si mescolano le carte sufficientemente bene, il passare del tempo non significherà nulla per i giocatori di carte, perchè la situazione si rinnova sempre ogni volta che le carte vengono mescolate. Così che la percentuale delle morti sarà costante come per gli atomi di radio. Ma se si riprendono le carte, semplicemente, dopo ogni turno, senza mischiarle, ciascun turno inevitabilmente sarà condizionato dal precedente e avremo l'analogo dell'antica legge di causalità. Allora la legge di diminuzione del numero dei giocatori sarà differente da quella realmente osservata nella disintegrazione radioattiva. Noi possiamo riprodurre questa, semplicemente supponendo che le carte siano continuamente mischiate, e colui che mischia può essere quello che chiamiamo il fato.

Così, sebbene noi siamo ancora lontani da una conoscenza positiva, sembra possibile che vi possa essere qualche fattore, per il quale noi non troviamo nome migliore di quello del fato, che opera in natura per neutralizzare la ferrea necessità della legge antica di causalità. Il futuro non può essere inevitabilmente condizionato dal passato come noi pensiamo; in parte almeno egli resta sulle ginocchia di un dio, qualunque egli sia.

Alcune altre considerazioni puntano verso la stessa direzione.

Per esempio, il professor Heisenberg ha mostrato che i concetti della teoria moderna dei quanti implicano quello che egli chiama un « principio d'indeterminazione ». Noi abbiamo a lungo pensato che l'azione della natura sia un esempio della più assoluta precisione. Le macchine fatte da noi uomini sono, lo sappiamo, imperfette e non precise, noi però accarezziamo l'illusione che il più interno meccanismo degli atomi debba fornire l'esempio d'una assoluta precisione e esattezza. Invece Heisenberg ha mostrato che la natura aborre sovrattutto dall'esattezza e dalla precisione.

Secondo la scienza antica, lo stato d'una particella, come un elettrone, è completamente determinato se noi conosciamo la sua posizione nello spazio e nel tempo e la sua velocità di moto attraverso lo spazio, in quell'istante.

Questi dati, insieme con la conoscenza di alcune forze che possono agire dall'esterno su di lui, determinano completamente il futuro dell'elettrone. Se questi dati fossero forniti per tutte le particelle dell'universo, il futuro dell'universo potrebbe essere totalmente predetto.

La scienza nuova, come è interpretata da Heinsenberg, asserisce che questi dati sono, per la stessa natura delle cose, impossibili a procurarsi. Se sappiamo che

un elettrone è in un certo punto dello spazio, non possiamo determinare esattamente con quale velocità esso si muoverà. La natura permette un certo « margine d'errore », e se tentiamo di superarlo, la natura non ci potrà dare un aiuto: essa non pare sappia nulla di misure assolutamente esatte.

Nella stessa maniera, se noi conosciamo l'esatta velocità d'un elettrone, la natura ci impedisce di scoprirne la sua esatta posizione nello spazio. È come se la posizione e il movimento d'un elettrone fossero segnati sulle due facce diverse d'una lastra fotografica. Se noi mettiamo la lastra in un apparecchio cinematografico cattivo, noi possiamo metterlo a fuoco a mezza via tra le due facce, e vedremo abbastanza chiaramente la posizione e insieme il movimento dell'elettrone. Con una macchina perfetta, non potremo più far questo; più mettiamo a fuoco una faccia, più diventa confusa l'altra.

La lanterna imperfetta è la vecchia scienza. Ci dava l'illusione che, solo che avessimo una lanterna perfetta, potremmo esser capaci di determinare insieme la posizione e il movimento d'una particella con grande precisione, ed era questa illusione che introduceva il determinismo nella scienza. Ma adesso che abbiamo nella scienza moderna una lanterna perfetta, essa ci mostra semplicemente che la determinazione della posizione e quella della velocità giacciono in due piani differenti della realtà, che non

possono essere messi contemporaneamente a fuoco. Così, vien tagliato fuori il motivo su cui l'antico determinismo era basato.

O ancora, per fare un'altra analogia, è come se gli ingranaggi dell'universo avessero lavorato, per così dire, lenti, quasi il suo meccanismo avesse sviluppato un certo « gioco », come quello che troviamo nelle macchine molto usate. In una macchina usata o vecchia varia il grado del « gioco » da punto a punto; nel mondo naturale esso è misurato dalla misteriosa quantità, conosciuta come la « costante *h* di Planck », che si dimostra una costante assoluta per tutto l'universo. Il suo valore, come nel laboratorio così nelle stelle, può essere misurato per innumerevoli vie e si trova che è sempre lo stesso.

Nondimeno il fatto che « la trasmissione lenta », d'un tipo qualsiasi, pervade tutto l'universo, distrugge la condizione per una causalità, in senso stretto, essendo quest'ultima la caratteristica di un macchinario perfetto.

L'incertezza su cui Heisenberg ha attirato l'attenzione è in parte, ma non del tutto, di natura soggettiva. Il fatto che non si possa specificare in modo preciso la posizione e la velocità d'un elettrone proviene in parte dall'imperfezione degli strumenti usati: nella stessa maniera che non ci si può pesare con sufficiente precisione, se non si pesa di meno delle misure di peso, che si hanno a disposizione.

La più piccola unità conosciuta per la scienza è l'elettrone, così che non può esservi unità più piccola a disposizione del fisico. Nel fatto attuale, non è la dimensione finita di questa unità che è la causa immediata della difficoltà, quanto quella della misteriosa unità *h* introdotta dalla teoria dei quanti di Planck. Questa misura le dimensioni degli « scatti » con cui si muove la natura, e fin tanto che questi scatti sono d'una quantità determinata, è impossibile di fare misure esatte altrettanto come è impossibile di pesare sè stessi su una bilancia che si muove soltanto a scatti.

Questa incertezza di carattere soggettivo non ha, comunque, rapporto con i problemi di radioattività e di radiazione discussi a pag. 41 e 45. Qui vi sono altri fenomeni naturali, troppo numerosi per essere enumerati qui, che non possono essere inclusi in uno schema logico, senza che il concetto d'indeterminazione sia introdotto in qualche maniera.

Queste ed altre considerazioni sulle quali noi torneremo più tardi (pp. 62 e 163) hanno condotto alcuni fisici a supporre che vi è un indeterminismo nei fenomeni in cui gli elettroni e gli atomi partecipano singolarmente, e che l'apparente determinismo negli eventi in larga scala sia solo di natura statistica.

Dirac descrive come segue la situazione:

« Se un'osservazione è fatta su un sistema atomico... in un dato stato il risultato non sarà in generale determinato, cioè

se l'esperimento è ripetuto varie volte sotto condizioni identiche, potranno ottenersi risultati differenti. Se l'esperimento è ripetuto un gran numero di volte, si troverà che ogni particolare risultato sarà ottenuto una frazione definita del numero totale di volte, così che si può dire esservi una probabilità definita di ottenerlo ogni volta che l'esperimento è fatto. La teoria ci permette di calcolare questa probabilità. In casi speciali, la probabilità può essere l'unità, e il risultato dell'esperimento è assolutamente determinato ».

In altre parole, se noi abbiamo a che fare con atomi ed elettroni, la legge matematica della media impone quel determinismo che manca alla legge fisica.

Noi possiamo illustrare il concetto con un'analoga situazione nel mondo macroscopico. Se noi facciamo girare su sè stesso un soldo, nessuno, con i nostri mezzi di conoscenza, può essere capace di dire se verrà testa o croce, ma se noi gettiamo un milione di tonnellate di soldi, noi sappiamo che ve ne sono 500 mila tonnellate di testa e 500 mila tonnellate di croce.

L'esperimento può essere ripetuto indefinitamente, e darà sempre lo stesso risultato. Noi possiamo esser tentati di chiamar questo in testimonianza dell'evidenza dell'uniformità della natura, per dedurne l'azione d'una legge riposta di causalità: nel fatto attuale è solamente una prova della pura legge matematica del caso.

Ancora il numero di soldi in un milione di tonnellate è niente in paragone con il numero d'atomi nei frammenti materiali più piccoli con cui i fisici d'un

tempo poterono esperimentare. E' facile vedere come l'illusione di determinazione — se è un'illusione — si insinuò nella scienza.

Noi non abbiamo ancora nessuna definita conoscenza di ciascuno di questi problemi. Probabilmente la maggioranza dei fisici si aspetta che in qualche modo la legge di rigorosa casualità venga, alla fine, ricollocata nel suo posto antico, nel mondo naturale. Sin a questo punto non è stata restaurata, con il risultato che, per il presente almeno, l'immagine dell'universo fatta dai nuovi fisici contiene più spazio, che non l'antica rappresentazione meccanica, perchè con la pittura stessa del mondo coesistano la vita e la coscienza, con gli attributi che comunemente associano, come il libero arbitrio, e la capacità di rendere l'universo in qualche modo differente per mezzo della stessa nostra presenza. Per quel poco che noi sappiamo, o per quel poco che la nuova scienza dice del contrario, il dio che rappresenta la parte del fato degli atomi dei nostri cervelli può essere la stessa mente nostra.

Per mezzo di questi atomi essa può, secondo il caso, produrre il movimento dei nostri corpi, e così lo stato del mondo intorno a noi. Al giorno d'oggi la scienza non può più a lungo chiudere la porta a questa possibilità; essa non ha più argomenti irrefutabili da portare contro alla nostra innata convinzione del libero arbitrio. D'altra parte, non ci dà nessun suggerimento su quel che significhi l'assenza di determi-

nismo o causalità. Se noi e la natura non dobbiamo rispondere in maniera unica agli stimoli esterni, che cosa determina il corso degli eventi? Se c'è qualcosa che lo determina, noi siamo respinti indietro nella causalità e nel determinismo; se niente del tutto, come avviene che qualcosa può succedere?

Per quanto veda, noi non siamo in grado di arrivare a una conclusione definita finchè non avremo una comprensione migliore della vera natura del tempo. Le leggi fondamentali della natura, per quel tanto che ci sono familiari, non danno nessuna ragione perchè il tempo debba trascorrere in modo continuo: esse sono egualmente preparate a un tempo che si ferma o che va indietro. Il continuo fluire in avanti del tempo, che è l'essenza della relazione di causa ed effetto, è qualcosa che noi sovrapponiamo alle leggi di natura accertate dalla nostra propria esperienza; se sia o no inerente alla natura del tempo noi non sappiamo, sebbene, come tra poco vedremo, la teoria della relatività abbia progredito, in certa misura, di qualche passo, stigmatizzando questo continuo fluire in avanti del tempo e la relazione di causa ed effetto come un'illusione; essa considera il tempo semplicemente come una quarta dimensione da aggiungersi alle tre dello spazio, così che il *post hoc ergo propter hoc* non può essere più vero per una serie di avvenimenti nel tempo che non lo sia per una serie di pali telegrafici lungo una strada ferrata.

E' sempre il mistero della natura del tempo che porta i nostri pensieri a un ristagno.

E se il tempo è una cosa così fondamentale che la comprensione della sua vera natura è per sempre al disopra d'ogni nostra ricerca, allora lo stesso è altresì per la controversia antica fra determinismo e libero arbitrio.

La possibile abolizione del determinismo e della legge di causalità da parte dei fisici costituisce, comunque, lo sviluppo relativamente recente della storia della teoria dei quanti. L'oggetto principale della teoria era di spiegare certi fenomeni di radiazione; per capire la questione è necessario che noi ritorniamo molto indietro sino a Newton e al seicento.

Un fatto ovvio sul comportamento di un raggio di luce, e una legge di comune osservazione, è la sua tendenza a propagarsi in linea retta; ad ognuno è familiare l'imagine d'un filo diritto di luce, attraverso una camera oscura. Siccome un corpuscolo, rapidamente mobile, tende ad andare in linea retta, così i primi scienziati, piuttosto naturalmente, pensarono della luce come d'una corrente di particelle, lanciate fuori dalla sorgente luminosa, come le pallottole dal fucile. Newton adottò questo punto di vista, e precisò questo concetto nella sua « teoria corpuscolare della luce ».

E' anche materia di osservazione comune che un raggio di luce non deve sempre propagarsi in linea

retta. Egli può essere improvvisamente invertito per riflessione, come succede se cade sulla superficie di uno specchio. O la sua orbita può essere curvata per rifrazione, come accade se entra nell'acqua o in altro mezzo liquido; è la rifrazione che fa sembrare il nostro remo rotto, lì dove tocca l'acqua, e ci fa sembrare i fiumi meno profondi di quello che possiamo provare, saltando dentro.

Sin dai tempi di Newton la legge che governa questi fenomeni era conosciuta. Nel caso della riflessione l'angolo sotto il quale il raggio colpisce lo specchio è esattamente eguale a quello sotto il quale egli ritorna indietro; in altre parole, la luce rimbalza dallo specchio come una palla da *tennis,* rimbalzante in un campo di *tennis* perfettamente duro. Nel caso della riflessione, il seno dell'angolo di incidenza stava in rapporto costante con il seno dell'angolo di riflessione. Noi troviamo Newton mostrare con fatica che i suoi corpuscoli-luce devono muoversi d'accordo con queste leggi, se sono soggetti a certe determinate forze alla superficie di uno specchio o di un liquido rifrangente.

Sono le proposizioni *XCIV* e *XCVI* dei *Principia*:

Proposizione xciv

Se due mezzi sono separati l'uno dall'altro da uno spazio, terminato ai due lati da piani paralleli, e un corpo nel suo passaggio attraverso questo spazio è attratto, o spinto,

perpendicolarmente, verso l'altro dei due mezzi, ma non accelerato o ritardato da alcuna altra forza; di più vi sia la medesima attrazione in ogni punto, posto a distanza, da uno o l'altro dei due piani, eguale e presa dalla medesima parte di quel piano stesso; allora io dico che il seno dell'angolo d'incidenza starà al seno dell'angolo d'emergenza dall'altro piano, in rapporto costante.

Proposizione xcvi

Supposto lo stesso, e che il moto prima dell'incidenza sia più rapido che dopo; io dico che, se la linea d'incidenza cresce continuamente d'inclinazione, il corpo sarà all'ultimo riflesso, e l'angolo di riflessione sarà eguale all'angolo d'incidenza.

La teoria corpuscolare di Newton sbaglia per il fatto che se un raggio di luce cade su di una superficie di acqua, soltanto una parte è rifratta. Il rimanente è riflesso, ed è quest'ultima parte che produce l'ordinaria riflessione degli oggetti in un lago, o l'increspatura della luce lunare sul mare. E' stata fatta l'obbiezione che la teoria di Newton non può rendere conto di questa riflessione, perchè se la luce consistesse di corpuscoli, le forze alla superficie dell'acqua dovrebbero trattare tutti i corpuscoli allo stesso modo; e rifratto uno, dovrebbero essere rifratti tutti; e questo non lascerebbe all'acqua nessun potere di riflettere la luce del Sole, della Luna o delle stelle.

Newton tentò di ovviare a questa obbiezione attribuendo « forze alterne di trasmissione e riflessione » alla superficie dell'acqua: il corpuscolo che cade sulla superficie in un istante era assorbito, ma nel prossimo istante la barriera era chiusa, e il suo compagno tornava indietro, sotto forma di luce riflessa. Il concetto anticipava stranamente ed esattamente la moderna teoria dei quanti, nel suo abbandono dell'uniformità della natura e la sostituzione del determinismo con la probabilità, ma in quel tempo non persuase.

E, in alcuni casi, la teoria corpuscolare era messa di fronte ad altre anche più gravi difficoltà. Se si studia in dettaglio abbastanza minuto, si trova che la luce non si muove assolutamente in linea retta come suggerisce il moto di particelle. Un oggetto grosso, come una casa o una montagna, getta un'ombra definita, e così ci protegge dal solleone come lo farebbe da una pioggia di pallottole. Ma un oggetto piccolo, come un filo molto piccolo, un capello o una fibra, non dà un'ombra simile. Se noi lo teniamo di fronte a uno schermo, non c'è parte dello schermo che non resti illuminata. In certo modo, la luce si ingegna di girargli intorno, e, invece d'una ombra definita, noi vediamo un'alternativa di luce e di bande parallele relativamente oscure, conosciute come « bande d'interferenza ». Per fare un altro esempio, un buco circolare in uno schermo lascia passare un fascio circo-

lare di luce. Ma facciamo un buco così piccolo come un piccolissimo foro di spillo, e il disegno proiettato sopra uno schermo al di là non è il disco di luce, ma un disegno di anelli, molto più grandi, concentrici — in cui si alternano anelli chiari e oscuri — « anelli di diffrazione ». La figura 1 della tavola II (p. 64) mostra l'immagine ottenuta facendo passare un fascio di luce da un foro di spillo a una lastra fotografica. Tutta la luce che è più lontana dal centro del raggio del foro ha in qualche modo girato i margini del foro. Newton riguardava questi fenomeni come la prova che i suoi « corpuscoli-luce » fossero attirati dalla materia solida. Egli scriveva:

« I raggi di luce che sono nella nostra aria, nel loro passaggio vicino agli angoli dei corpi, siano trasparenti o opachi (come gli spigoli circolari o rettangolari d'un cono, o d'un coltello, o i frammenti di pietra o di vetro), sono piegati e curvati intorno a quei corpi, come se fossero attirati da quelli; e quei raggi che nel loro passaggio arrivano più vicini ai corpi sono i più curvati, come se fossero quelli più attirati ».

Qui di nuovo Newton è stranamente il precursore della scienza d'oggi, essendo le sue forze, ammesse per ipotesi, strettamente analoghe alle « forze quantiche » della moderna teoria della meccanica delle onde. Però non riuscì a dare una spiegazione dettagliata dei fenomeni di diffrazione, e perciò incontrò poco favore.

Col tempo tutti questi fenomeni e simili furono adeguatamente spiegati supponendo che la luce consiste di onde, qualcosa di simile a quelle che il vento suscita negli oceani, eccetto che, invece d'essere ogni onda lunga alcuni yards, alcune migliaia di onde entrano in un pollice. Le onde luminose girano gli ostacoli nella stessa maniera con cui le onde del mare girano intorno a un piccolo scoglio. Una catena di scogli lunga delle miglia dà una perfetta protezione dal mare, ma uno scoglio piccolo non dà una tale protezione — le onde gli passano intorno da una parte o dall'altra e si riuniscono dietro di esso, proprio come le onde luminose si riuniscono dopo un tenue capello o una fibra. Alla stessa guisa le onde del mare che cadono sull'imboccatura d'un porto non si propagano in linea retta, ma girano intorno agli spigoli della diga, e così increspano la superficie dell'acqua nel porto. La fig. 1 della tav. II mostra l'« increspatura » al di là d'un foro di spillo prodotta dalle onde luminose che hanno girato intorno agli angoli del buco, come le onde del mare giranti intorno alla diga. Il seicento riguardava la luce come una pioggia di corpuscoli; l'ottocento, scoprendo che ciò non era adeguato a render conto dei fenomeni in piccola scala come quelli sopra descritti, sostituì la pioggia di particelle con « treni d'onda ».

Ma la sostituzione portò con sè le proprie difficoltà. Se la luce passa attraverso un prisma, si spezza

in uno « spettro » simile all'arcobaleno — rosso, arancio, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto. Se la luce consiste di onde come le onde del mare, si può dimostrare che tutta la luce solare analizzata dovrebbe trovarsi all'estremo violetto dello spettro. E non solamente questo; ma l'estremo violetto ha un'illimitata capacità di assorbire energia, e poichè esso l'ha sempre molto accentuata, tutta l'energia dell'universo dovrebbe rapidamente trasformarsi in radiazione violetta, o ultravioletta propagantesi nello spazio.

La « teoria dei quanti » nacque dagli sforzi di liberare la teoria delle onde da queste difficoltà. Essa ha avuto successo pieno. E' stato mostrato che Newton non si era completamente sbagliato, riguardando la luce come corpuscolare, perchè si è provato che un fascio di luce può essere riguardato come composto di unità distinte, chiamate « quanti di luce » o « fotoni » con la stessa precisione, con cui la pioggia può considerarsi composta di gocciole d'acqua, una pioggia di pallottole di pezzi separati di piombo, un gas di molecole separate.

Nello stesso tempo la luce non deve perdere il suo carattere ondulatorio. Ciascuna piccola particella di luce ha una quantità definita, della natura d'una lunghezza, associata con lei. Noi la chiamiamo « lunghezza d'onda », perchè se la luce in questione passa attraverso un prisma, si comporta precisamente come farebbe un'onda della sua particolare lunghezza. La

luce di grande lunghezza d'onda è fatta di piccole particelle, e viceversa, essendo la quantità d'energia inversamente proporzionale a questa lunghezza d'onda, così che noi possiamo sempre calcolare l'energia d'un fotone dalla sua lunghezza d'onda e viceversa.

È impossibile riassumere la gran quantità di esperienze su cui questi concetti sono basati. Tutto il complesso di questi esperimenti, senza alcuna eccezione, indica che la luce passa attraverso apparecchi di laboratorio in fotoni interi; non c'è alcuna osservazione che riveli l'esistenza d'una frazione di fotone, o dia ragione di sospettare che una tal cosa esista. Due esempi per caratterizzare tutto ciò.

La radiazione può, in convenienti condizioni, rompere gli atomi su cui cade. Uno studio degli atomi spezzati ci dice quanta energia è stata fornita loro per spezzarsi. Invariabilmente si è dimostrato che l'energia è esattamente quella d'un fotone, calcolato dalla sua lunghezza d'onda. Si può pensare che un'armata di luce è venuta in conflitto con un'armata di materia. Si sa che quest'ultima è formata di soldati individuali, gli atomi; adesso appare che anche la prima consiste di individui soldati, poichè lo studio del campo di battaglia dimostra che c'è stato un conflitto a scontri individuali.

Secondo esempio: il professor Compton di Chicago ha di recente studiato quel che succede se dei raggi X cadono su elettroni. Egli ha trovato che la

radiazione è dispersa esattamente, come se consistesse di particelle materiali di luce, o fotoni, moventisi come unità indipendenti, questa volta simili a pallottole su di un campo di battaglia, colpendo tutti gli elettroni che stanno sulla loro strada.

Dalla quantità di cui ogni fotone è curvato dalla sua orbita in queste collisioni, è possibile calcolare l'energia dei fotoni; e di nuovo si trova che questa concorda esattamente con quella calcolata dalla loro lunghezza d'onda.

Questo concetto di fotone indivisibile, di nuovo, ci conduce indietro nell'indeterminazione. Qui vi sono vari metodi per dividere un fascio di luce in due parti che seguono cammini diversi. Se il raggio è ridotto a un singolo fotone, egli deve seguire o l'uno o l'altro dei cammini, egli non può distribuirsi in ambedue, perchè il fotone è indivisibile. E la sua scelta del cammino si presenta come questione di probabilità, e non di determinazione.

Per questa via si scorge che il secolo decimosettimo che riguardava la luce come particelle, e il secolo decimonono che la riguardava come semplici onde, sono ambedue in errore — o se preferiamo, ambedue nel vero. La luce, e la radiazione d'ogni specie, è l'una cosa e l'altra, corpuscolo e onda allo stesso tempo. Nell'esperimento del prof. Compton, la radiazione X cade su di un singolo elettrone e si dimostra come una pioggia di particelle discrete; negli

esperimenti di Laue, Bragg e altri, una radiazione esattamente simile cade su un cristallo solido e si comporta in tutti gli aspetti come una successione di onde. Ed è sempre così in natura; nessun principio generale conosciamo ancora che ci dica quale comportamento sarà scelto in un istante particolare.

È chiaro, noi possiamo mantenere la nostra credenza nell'uniformità della natura soltanto se supponiamo che particella e onda siano la stessa cosa. E questo ci porta alla seconda metà, molto più sorprendente, della nostra storia.

La prima metà, che è stata raccontata, è che la radiazione adesso ci appare come onde, e adesso come particelle; la seconda è che elettroni e fotoni, le unità fondamentali della materia, possono ancora apparire ora come particelle, ora come onde. Una dualità è stata recentemente scoperta nella natura dell'elettrone e del protone simile a quella già conosciuta nella natura della luce; questi appaiono dunque essere corpuscoli e onde nello stesso tempo.

Se la teoria corpuscolare di Newton della luce cedesse il posto alla teoria ondulatoria, diventerebbe necessario spiegare come una successione di onde possa simulare il comportamento di una pioggia di particelle, e muoversi in linea retta, eccettuato se vien riflesso o rifratto.

Se il raggio, che attraversa un foro in uno schermo, consiste di onde, sarebbe naturale attendersi che

TAVOLA II. LA DIFFRAZIONE DELLA LUCE E DEGLI ELETTRONI

Fig. 1. Anelli di diffrazione prodotti su uno schermo opaco facendo passare la luce attraverso una cruna d'ago (N. R. Fowler).
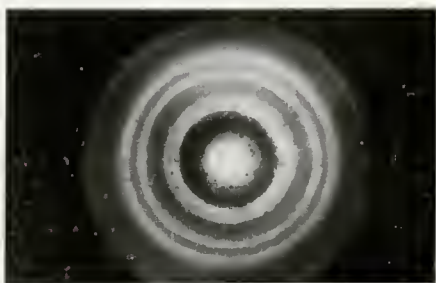
Fig. 2. Anelli di diffrazione ottenuti facendo passare un fascio di elettroni attraverso una sottilissima foglia di oro (G. P. Thomson).
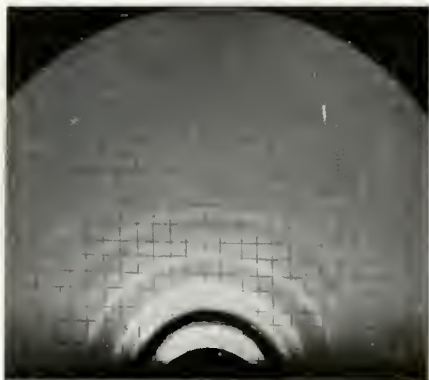
Fig. 3. Anelli di diffrazione prodotti da elettroni riflessi su una piccola area d'una foglia d'oro (G. P. Thomson).

si disperdessero in tutto lo spazio, come il vapore si disperde da tutta la superficie d'un serbatoio, o come un raggio molto ristretto, passando attraverso il buco d'uno spillo, si allarga, come è mostrato nella figura 1 della tavola II. Tuttavia Fresnel e Young hanno mostrato che una successione indisturbata di onde di sufficiente larghezza si muoverà come un raggio, senza apprezzabile dispersione per via — come una pioggia di particelle liberamente mobili — e viene riflessa da uno specchio, precisamente come una palla di fucile rimbalza sopra una superficie perfettamente dura. E' stato anche dimostrato che un tale sistema di onde sarà rifratto. Finalmente, se un tale sistema di onde si propaga attraverso un mezzo il cui indice di rifrazione varia continuamente, il suo cammino sarà simile a quello d'una particella, fatta deviare dalla linea retta da forze agenti continuamente. Infatti i due cammini possono diventare identici, se in ogni punto si prende la forza proporzionale al variare del quadrato dell'indice di rifrazione. Questo spiega il successo delle proposizioni di Newton XCIV e XCVI, che noi abbiamo riferito a pagina 56.

Così, comunque, possono portare alle stesse conseguenze sia le particelle della teoria corpuscolare di Newton, sia una successione di onde.

Ma, appunto per la loro più grande complessità quest'ultime possono darci di più, e in ogni caso

in cui le particelle non riescono a darci il comportamento della luce, è stato trovato che un sistema di onde rappresenta la parte completamente. Così le particelle ammesse da Newton vengono risolute in un sistema di onde. Negli ultimi anni abbiamo visto similmente le particelle di cui la materia ordinaria è costituita — cioè protone ed elettrone — risolversi in sistemi di onde. In alcune circostanze, il comportamento d'un elettrone o protone è stato trovato essere troppo complesso per permettere una spiegazione come il moto d'una sola particella; Louis de Broglie, Schrödinger e altri hanno accortamente tentato di spiegarlo come il comportamento d'un gruppo di onde, e così facendo, hanno fondato la branca della fisica matematica, conosciuta col nome di « Meccanica delle onde ».

Se noi seguiamo con lo sguardo un'ordinaria palla da tennis rimbalzante sulla superficie di un campo perfettamente compatto, possiamo trovare che il suo moto è lo stesso che quello d'un fascio di luce riflesso alla superficie d'uno specchio, così che noi possiamo parlare propriamente della palla, dicendo che è stata « riflessa » dalla superficie del campo. Ma con questa scoperta non si è guadagnato tanto. Senza dubbio, ciò ci permetterà d'interpretare la palla da tennis come un sistema di onde, se lo desideriamo; ma non lo facciamo, perchè noi abbiamo visto o pensiamo d'aver visto che una palla da tennis non è un

sistema di onde. Il caso sarà differente se l'oggetto che si muove è un elettrone. Se il moto dell'elettrone rimbalzante su d'una superficie fu osservato esser simile a quello d'un sistema d'onde, niente può escludere la possibilità che l'elettrone sia un sistema d'onde. Non possiamo adesso dire: « Questo non mi interessa; io posso vedere l'elettrone ed è chiaro che non è un sistema d'onde », perchè nessuno ha visto un elettrone, o possiede il concetto più remoto di ciò che, se potessimo, vedremmo. Noi siamo proprio liberi *a priori* di considerare un elettrone come un sistema di onde, come di considerare i corpuscoli di Newton come un sistema di onde. E per trovare se realmente un elettrone è un sistema di onde, noi dobbiamo invertire il fenomeno, in cui una particella solida e un sistema di onde debbono comportarsi differentemente.

Adesso i fenomeni in cui l'elettrone si è comportato in modo del tutto differente da quello che ci saremmo aspettato se esso fosse un corpuscolo, ci forniscono precisamente il gruppo di fenomeni di cui abbiamo bisogno, e, in ogni caso, l'elettrone ha mostrato di comportarsi come un sistema di onde. Un fenomeno particolare è quello d'una pioggia di elettroni su una foglia di metallo; essa non deve rimbalzare come farebbe una pioggia di chicchi di grandine o di palle da tennis, ma produce figure di diffrazione come farebbe un sistema d'onde (figura 3,

tavola II). E lo stesso è il risultato, se la corrente d'elettroni è fatta passare attraverso un'apertura molto stretta: essi si diffondono lateralmente e producono un effetto di diffrazione che rassomiglia molto a quello che producono le onde luminose (fig. 1 e 2, tav. II). Questo non deve naturalmente provare che un elettrone consiste di onde, ma si tratta di sapere se un sistema di onde non ci dia un'immagine migliore dell'elettrone, di quel che non faccia una particella rigida. Attualmente un sistema di onde fornisce un modello che sinora non ha mai mancato di tradire il comportamento d'un elettrone, mentre la concezione dell'elettrone come un corpuscolo rigido in varie circostanze ha fallito.

La nuova meccanica delle onde mostra che un elettrone o un protone in moto deve comportarsi come un sistema d'onde di determinata lunghezza; questa dipende dalla massa del mobile, e dalla sua velocità di moto, non da altro. E la lunghezza d'onda, che si assegna all'elettrone e protone, moventisi sotto ordinarie condizioni di laboratorio, è tale che può essere facilmente misurata con apparecchi ordinari.

Esperimenti che si possono descrivere come riflessione e rifrazione d'elettroni sono stati fatti da Davisson e Germer in America, dal prof. G. P. Thomson in Aberdeen, da Rupp in Germania, da Kikuchi in Giappone, e da molti altri. Elettroni mobili sono

stati lanciati, formando un fascio parallelo, sopra o attraverso una superficie metallica. E in ogni caso l'effetto ottenuto su una lastra fotografica, convenientemente posta, non è per niente quello che si sarebbe osservato se gli elettroni si comportassero come una pioggia di piccole pallottole o altre particelle rigide. Una figura di diffrazione è stata ottenuta invariabilmente, consistente in un sistema di anelli concentrici, alternativamente oscuri e luminosi. Le figure sono le stesse di quelle che si sarebbero ottenute se onde d'una lunghezza definita fossero cadute sul metallo, e se si misura la lunghezza dell'onda, si trova che è quella predetta dalla meccanica delle onde. Recentemente il prof. A. J. Dempster di Chicago ha ottenuto gli stessi risultati con protoni mobili.

Questi e altri esperimenti mettono in chiaro che le onde e le lunghezze associate con elettroni e protoni mobili sono più che un semplice mito. Vi ha certamente qualche cosa di natura ondulatoria, e il modello che presenta elettroni e protoni come sistemi d'onde, spiega il loro comportamento nell'interno e fuori degli atomi, meglio di quello che farebbe la teoria, che li riguardava semplicemente come particelle cariche. Discuteremo più tardi la natura di queste onde. Intanto possiamo concludere dicendo che i costituenti della materia (elettroni e protoni) e la radiazione mostrano ambedue una eguale natura. Finchè la scienza lavora con fenomeni su larga scala,

un modello adeguato può generalmente ottenersi supponendo che ambedue abbiano la natura di particelle. Ma se la scienza si fa più accosto alla natura, e passa allo studio dei fenomeni microscopici, materia e radiazione mostrano di risolversi egualmente in onde.

Se noi vogliamo intendere la natura delle cose, dobbiamo volgere la nostra attenzione a questi fenomeni microscopici. Qui giace l'ultima natura nascosta delle cose, e quel che troviamo sono onde. In questa maniera noi cominciamo a sospettare che viviamo in un universo di onde, e niente altro che onde. Noi discuteremo la natura di queste onde in sèguito. Per ora basta osservare che la scienza moderna è progredita molto rispetto all'antica concezione d'un universo come semplice collezione di frammenti rigidi di materia, in cui onde di radiazione sono dei puri accidenti. Nel prossimo capitolo andremo più avanti su la stessa via.

Capitolo III

MATERIA E RADIAZIONE

Nei primordi della scienza, l'accettazione senza discussione della legge di causalità come un principio governante l'Universo condusse alla scoperta e alla formulazione di leggi del tipo generale: « una causa determinata A conduce a un certo effetto B ». Per esempio l'aggiunta di calore al ghiaccio ne produce la fusione, o, detto con più precisione, il calore diminuisce la quantità di ghiaccio nell'universo e fa aumentare la quantità di acqua.

L'uomo primitivo dovette convincersi di questa legge, molto facilmente: ebbe solo da guardare l'azione del Sole sulla brina, o l'effetto d'una lunga estate sui ghiacciai montani. Nell'inverno invece doveva notare che il freddo cambiava di nuovo l'acqua in ghiaccio. In uno stadio posteriore si potè scoprire che il ghiaccio, che si era congelato nuovamente, era eguale in quantità al ghiaccio originale, prima della fusione. E quindi sarà stata una deduzione naturale che qualche cosa — riferentesi a una categoria più generale che non sia l'acqua o il ghiaccio — era ri-

masta inalterata, in quantità, durante la trasformazione

ghiaccio → acqua → ghiaccio

La fisica moderna è familiare con leggi di questo tipo, dette « leggi di conservazione ».

La scoperta che noi abbiamo attribuito all'uomo primitivo è un caso speciale della legge della conservazione della materia. La legge di « conservazione di X », qualunque cosa X possa essere, significa che la quantità totale di X nell'universo rimane in eterno la stessa: niente può mutare X in altro, diverso da X. Ogni tale legge è, di necessità, ipotetica; quello che attualmente si può dire, è che nessun mezzo noi abbiamo, che possa cambiare la quantità totale di X. E se noi abbiamo tentato abbastanza prove, e ogni volta fallito, è legittimo proporre una legge di conservazione di X, come ipotesi di lavoro.

Alla fine dell'ultimo secolo, la scienza fisica riconosceva le tre maggiori leggi di conservazione:

A	conservazione	della	materia
B	»	»	massa
C	»	»	energia

Altre leggi minori, come quella della conservazione del momento lineare e angolare, non devono entrare in discussione, perchè sono semplici deduzioni dalle tre maggiori leggi, già menzionate. Delle tre mag-

giori leggi, la conservazione della materia è la più venerabile. Essa era implicita nella filosofia atomistica di Democrito e Lucrezio, che suppone che tutta la materia sia increabile, inalterabile e indistruttibile. Essa asserisce che il contenuto di materia d'un frammento dell'universo o d'una regione dello spazio rimane la stessa, eccetto le alterazioni che possono avvenire per l'entrata o l'uscita di atomi. L'universo è un palcoscenico, su cui sempre gli stessi attori — gli atomi — rappresentano le loro parti, differenti per travestimenti e aggruppamenti, ma senza cambiare d'identità. E questi attori posseggono il dono dell'immortalità.

La seconda legge, quella della conservazione della massa, è di scoperta più moderna. Newton ha supposto che ogni corpo o pezzo di sostanza abbia associata una quantità invariabile, la sua massa, che darebbe una misura della sua « inerzia » o riluttanza a cambiare la propria velocità. Se un autocarro richiede il doppio di forza motrice di un altro per raggiungere la stessa velocità, noi diciamo che ha una massa doppia dell'ultimo.

La legge di gravitazione asserisce che le forze gravitazionali di due corpi sono in proporzione esatta con le loro masse, così che se l'attrazione della terra su due si dimostra eguale, le loro masse devono essere eguali; quindi ne segue che la maniera più semplice di misurare la massa d'un corpo è di pesarlo.

Con l'andar del tempo, la chimica ha mostrato che gli « atomi di Lucrezio » non hanno nessun diritto al loro nome (ἀ-τέμνειν, non suscettibile di esser tagliato). S'è provato che sono tutt'altro che « indivisibili » e quindi furon chiamati, d'allora in poi, « molecole » riservando il nome atomo alle unità più piccole, in cui una molecola può essere spezzata. Vi sono maniere diverse di spezzare le molecole, e di riaggruppare i loro atomi. Può bastare la semplice contiguità con altre molecole, come per esempio, quando il ferro irrugginisce, o un acido è versato sul metallo.

Le molecole si possono spezzare sia riscaldandole, sia facendole esplodere, o facendovi cader su la luce. Per esempio, se una bottiglia di perossido d'idrogeno rimane sotto l'azione della luce, il semplice passaggio della luce attraverso il liquido spezza ogni molecola di perossido d'idrogeno (H_2O_2) in una molecola d'acqua (H_2O) e in un atomo di idrogeno (H). Se noi sturiamo la bottiglia, noi dovremo sentire un gorgoglío causato dallo sfuggire del gas ossigeno, e troveremo che il perossido si è trasformato in acqua. Molecole di bromuro d'argento sono formate con l'azione della luce, e questo cambiamento è la base della fotografia.

Prima della fine del secolo decimottavo Lavoisier credette d'aver dimostrato che il peso totale della materia rimaneva inalterato attraverso tutti i cambiamenti chimici che egli poteva provocare. Più tardi

la legge della « conservazione della massa » è diventata parte integrante della scienza. Noi sappiamo adesso che quel che scappa dalla bottiglia di perossido, aggiunto al peso del liquido che rimane, è leggermente più grande del peso del perossido originale, e che la lastra fotografica aumenta di peso, rimanendo esposta alla luce. Tra poco vedremo che la legge è inesatta perchè trascura il peso della luce assorbita dalle molecole di perossido d'idrogeno o dal bromuro d'argento.

Il terzo principio, quello della conservazione dell'energia, è il più recente. L'energia può esistere in una grande varietà di forme, delle quali la più semplice è la pura energia di movimento — il movimento d'un treno sulle rotaie in un tratto rettilineo e a livello, o d'una palla di bigliardo sopra un tavolo. Newton ha dimostrato che questa energia puramente meccanica rimane « conservata ». Per esempio, se due palle di bigliardo si urtano, l'energia di ciascuna cambia, ma l'energia totale rimane invariata; l'una dà energia all'altra, ma niente va perduto o guadagnato in questo passaggio. Questo, comunque, è solamente vero nel caso d'urto « perfettamente elastico », condizione ideale in cui le palle tornano indietro con la medesima velocità, con cui si erano avvicinate. Nelle condizioni normali, come è nella natura, dell'energia meccanica qualcosa rimane sempre perduta: un proiettile perde della sua velocità at-

traverso l'aria, e un treno si arresta se la macchina non funziona più. In tali casi si produce del calore e del suono. Ora una lunga serie di ricerche ha mostrato che il calore e il suono sono anch'essi forme d'energia. In una classica serie d'esperienze fatte nel 1840-50, Joule ha misurato l'energia del calore, e tentato di misurare l'energia del suono con un rudimentale apparecchio, consistente in una corda di violoncello. Per quanto imperfetti, i suoi esperimenti portarono al risultato che fu scoperta la « legge della conservazione della energia » come un principio che governava tutte le trasformazioni conosciute d'energia, attraverso le varie forme: energia elettrica, meccanica, calore, suono. Essi dimostrano, in breve, che l'energia è trasformata piuttosto che perduta, essendo una perdita apparente di energia compensata da una energia esattamente eguale di calore e di suono; l'energia di moto del treno in corsa è sostituita dall'energia equivalente del rumore prodotto dalle vibrazioni delle carrozze, e dal riscaldamento delle ruote, dei freni e delle rotaie.

Nella seconda metà del secolo decimonono queste tre leggi rimasero inalterate. La conservazione della massa si supponeva fosse la stessa cosa della conservazione della materia, perchè la massa d'un corpo era riguardata come la somma della massa dei suoi atomi. Questo certo spiegava semplicemente, troppo semplicemente, sappiamo adesso, come la massa to-

tale non si alteri attraverso reazioni chimiche. Ma il principio da poco scoperto della conservazione dell'energia stava a parte, rispetto alle due leggi più antiche, come qualcosa per sè stante. L'universo era considerato come un teatro in cui attori erano gli atomi, dei quali ciascuno conservasse nel tempo la sua massa e la sua identità. Per completare il quadro, un'entità, conosciuta come energia, era passata da un attore all'altro, e questa, come gli attori stessi, era incapace di crearsi o di annichilarsi.

Queste tre leggi di conservazione avrebbero dovuto semplicemente essere riguardate come ipotesi di lavoro, da essere provate in ogni concepibile modo e scartate appena si siano dimostrate manchevoli. Ma sembravano stabilite con tanta sicurezza che erano considerate leggi universali indiscutibili. Nel secolo decimonono i fisici erano abituati a scrivere di esse come se governassero tutto il creato, e su questa base i filosofi dogmatizzarono sulla natura dell'universo.

Era la calma prima dell'uragano. Il primo rombo dell'avvicinarsi della tempesta fu un'investigazione teoretica di J. J. Thomson, che mostrò che la massa d'una particella elettrizzata deve cambiarsi se posta in movimento; più veloce è, più grande diventa la massa, in contraddizione col concetto di Newton d'una massa invariabile. Da quel momento il principio della conservazione della massa parve abbandonare la scienza.

Per un certo tempo rimase solo cosa d'un interesse accademico; non potè essere dimostrato sperimentalmente perchè particelle ordinarie non possono essere caricate elettricamente in modo sufficiente, o essere poste in moto con sufficiente velocità, perchè diventino apprezzabili le variazioni della massa, che la teoria predice. Allora, quando proprio il secolo decimonono si avviava alla fine, sir J. J. Thomson e i suoi continuatori cominciarono a rompere l'atomo, che è stato dimostrato non esser più un indivisibile, e così non può aver diritto al titolo di « atomo » più della molecola, a cui il nome era stato prima dato. Essi furono solamente capaci di scoprire piccoli frammenti, e ancora la perfetta disintegrazione atomica nei suoi ultimi costituenti non è stata completamente compiuta. Si trovò che questi frammenti sono tutti precisamente simili, e carichi d'elettricità negativa. Questi furono, per comune intesa, chiamati elettroni.

Questi elettroni sono tanto intensamente carichi quanto un corpuscolo ordinario non lo può in nessun caso. Un granulo di oro, battuto finchè è possibile, così da diventare un foglio di un yard quadrato, può a mala pena esser caricato d'una carica di circa 60.000 unità elettrostatiche, ma un grammo di elettroni porta una carica permanente che è di circa nove milioni di milioni più grande. Perciò, e perchè gli elettroni

possono essere messi in moto con forze elettriche con velocità di più che centomila miglia al secondo, è facile verificare che la massa d'un elettrone varia con la sua velocità. Esperimenti esatti hanno mostrato che la variazione è precisamente quella predetta dalla teoria.

Grazie specialmente alle ricerche di Rutherford, è stato ora stabilito che ogni atomo è costituito interamente di elettroni caricati negativamente e di particelle caricate positivamente, chiamate « protoni »; la materia dimostra d'essere nient'altro che una collezione di particelle cariche elettricamente. Con un giro del caleidoscopio tutte le scienze che lavorano con le proprietà e struttura della materia sono diventate ramificazioni dell'unica scienza dell'elettricità. E già prima Faraday e Maxwell avevano dimostrato che la radiazione è, per sua natura, elettrica, così che tutta la scienza fisica è adesso compresa nell'unica scienza dell'elettricità.

Siccome ogni corpo è una collezione di corpuscoli carichi elettricamente, la investigazione teorica già menzionata mostra che la massa di ogni corpo moventesi deve variare con la velocità del suo moto. La massa d'un corpuscolo mobile può essere riguardata come di due parti — una parte fissa che possiede ogni corpo quando è in quiete, conosciuta come la sua « massa in quiete », e una parte variabile che

dipende dalla velocità. Osservazione e teoria hanno mostrato che questa seconda parte è esattamente proporzionale all'energia di moto del corpo; le masse di due elettroni, o di due altri corpi, differiscono di quel tanto di cui differisce la loro energia.

Nel 1905 Einstein estese questa legge con una grandiosa generalizzazione. Mostrò che non solo l'energia di moto ma quella di ogni concepibile specie, deve possedere di per sè una massa; se non fosse così, la teoria della relatività non potrebbe esser vera. In questa maniera ogni prova sperimentale della teoria della relatività diveniva una testimonianza che l'energia possiede una massa. L'investigazione d'Einstein mostra che la massa dell'energia di una specie qualunque dipende unicamente dalla quantità d'energia a cui essa è esattamente proporzionale. E ciò è estremamente piccolo. Il *Mauretania,* completamente caricato, pesa circa 50.000 tonnellate; se si muove a 25 nodi, il suo moto aumenta il suo peso di circa una milionesima parte d'un'oncia. L'energia che un uomo impiega nel tempo della sua vita di pesante lavoro manuale, pesa solamente la 60.000^{ma} parte d'un'oncia. Questa scoperta rende possibile di ristabilire il principio della conservazione della massa. Per massa s'intende l'insieme di massa in quiete e massa d'energia; e perchè ciascuna d'esse è conservata separatamente (la prima perchè la materia è conservata, e l'altra

perchè l'energia è conservata), deve esserci anche la conservazione della massa totale.

I fisici del secolo decimonono hanno riguardata la conservazione della massa come una conseguenza solamente della conservazione della materia. I fisici del secolo ventesimo hanno scoperto che c'era implicita anche la conservazione della energia; la massa sembra che sia conservata solamente perchè la materia e l'energia sono conservate separatamente.

Finchè l'atomo era considerato come permanente e indistruttibile — « l'immortale pietra fondamentale dell'universo » per usare la frase di Maxwell — era naturale si trattasse come il fondamentale costituente dell'universo. L'universo era, insomma, un universo di atomi, la radiazione essendo cosa di importanza assolutamente secondaria. Ogni volta che un atomo era supposto messo in vibrazione, come un campanello dopo una scossa, emetteva radiazione per un certo tempo, come un campanello emette del suono, finchè non ritorna allo stato normale di quiete. Ma la radiazione era ritenuta un costituente della materia di più che non fosse il suono parte costitutiva del *carillon* dei campanelli. Incidentalmente questo spiega perchè si trovava impossibile d'immaginare come il sole potesse continuare a irradiare per migliaia di milioni di anni e più. La luce del sole si credeva che fosse prodotta dall'agitazione degli ato-

mi, ma non si poteva immaginare come fosse mantenuta l'agitazione.

La scena cominciò a cambiare subito che fu riconosciuto che l'atomo è fatto di particelle cariche elettricamente, che non potessero uscire al di fuori del raggio delle loro attrazione e repulsione. Questo mostra che un elettrone deve, in un certo senso almeno, occupare tutto lo spazio. Faraday e Maxwell si esprimono anche più esplicitamente di così; immaginano una particella elettrica come dotata di struttura tentacolare, un piccolo corpo materiale che manda fuori specie di antenne o tentacoli, chiamati « linee di forze » attraverso tutto lo spazio. Se due particelle elettrizzate s'attraggono o si respingono, ciò avviene perchè i tentacoli dell'una hanno qualcosa che fa presa sull'altra, e la respinge o l'attira. Questi tentacoli son supposti formati da forze elettriche o magnetiche, di cui la radiazione pure è formata. Se un atomo emette radiazione scarica semplicemente qualcuno dei suoi tentacoli nello spazio, come si dice del porcospino che manda fuori i suoi aculei. Questo concetto poneva la radiazione e la materia in più intima relazione che mai prima.

Poichè tutti i tipi di radiazione sono forme di energia, esse devono, in accordo col principio d'Einstein, portare della massa associata con loro.

Se un atomo emette radiazione, la sua massa diminuisce della massa della radiazione emessa, pro-

prio come, per così dire, un porcospino diminuisce del peso degli aculei che ha lanciato. Così se un pezzo di carbone è bruciato, il suo peso non si riottiene con quello del fumo o della cenere; noi dobbiamo a questo aggiungere il peso della luce e del calore, emessi nel processo di combustione. Solamente allora il peso totale sarà il peso dell'originale pezzo di carbone.

Molto tempo fa, nel 1873, Maxwell ha mostrato che la radiazione deve esercitare una pressione su una superficie su cui cade. Noi consideriamo ciò come una conseguenza necessaria del fatto che la radiazione porta della massa con sè: un fascio di luce consta di masse moventisi con la velocità della luce — 300.000 km. al secondo. Lebedew, e dopo, Nichols e Hull, misurarono questa pressione e trovarono che la sua intensità era quella calcolata da Maxwell. Una piastrina può essere veduta rinculare sotto il colpo della radiazione della luce bianca, proprio come se un palla fosse stata sparata contro di essa. Ma l'urto di tale luce, come noi sperimentiamo sulla terra, è estremamente piccolo; per vedere le intere conseguenze del fenomeno noi dobbiamo lasciare la terra e la fisica che noi abbiamo sviluppato nei laboratori terrestri, per interessarci del cielo e della fisica più grandiosa che noi vediamo in opera nei colossali crogioli delle stelle. Riscaldate un'ordinaria palla di cannone di sei pollici a oltre 50 milioni di gradi, che è la temperatura del centro del sole, e la radiazione

che emetterà, sarà sufficiente a spingere indietro — per semplice urto, come un getto d'acqua da una pompa d'incendio — qualsiasi cosa che si avvicina a 50 miglia di distanza da essa. Infatti nell'interno delle stelle questa pressione di radiazione è così grande che contribuisce in rapporto apprezzabile al peso delle stelle.

Calcoli mostrano che circa un diecimillesimo d'oncia di luce solare cade ogni minuto su ogni miglia quadrato di piano direttamente sotto il sole; esso cade con la velocità della luce, ed essendo ridotto allo stato di quiete, esercita una pressione di circa 0,000.000.000.04 atmosfere sul piano. La cifra sembra assurdamente piccola — il peso d'un raggio di sole che cade in un secolo è minore del peso della pioggia che cade in un secondo d'un forte acquazzone. Però la quantità è piccola solo perchè un campo di un miglio quadrato è piccola cosa nello spazio astronomico. L'emissione totale di radiazione del sole è con la maggiore esattezza 250 milioni di tonnellate al minuto, che è qualcosa di simile a 10.000 volte la quantità media d'acqua che scorre sotto il ponte di Londra. E, incidentalmente, se il nostro fattore 10.000 è grossolano, ciò non è perchè noi non sappiamo il peso esatto della radiazione solare, ma perchè non conosciamo la corrente media del Tamigi con precisione molto grande. La fisica astronomica è scienza molto più esatta della idraulica terrestre.

Una certa quantità di radiazione cade sul sole dalle altre stelle, ma questa è assolutamente inapprezzabile in confronto con il peso della radiazione che ne va via, così che il sole può mantenere il suo peso solo se la materia confluisce su di lui in quantità di circa 250 milioni di tonnellate al minuto.

Siccome il sole viaggia nello spazio, deve continuamente raccogliere materia sperduta sotto forma di atomi interi o di molecole, di pulviscolo e di meteoriti. Questi ultimi sono oggetti solidi che esistono in numero enorme nel sistema solare, e girano intorno al sole in orbite simili a quelle dei pianeti. Occasionalmente essi entrano nell'atmosfera terrestre: allora la resistenza dell'aria, nella loro caduta verso la terra, li porta all'incandescenza, ed essi appaiono come stelle cadenti. Generalmente essi si dissolvono in vapore prima di raggiungere la superficie terrestre; solo occasionalmente hanno una massa sufficiente da sopravvivere all'effetto disgregante di questa resistenza dell'aria e allora colpiscono la terra in forma di pietre, conosciute come meteoriti.

Questi sono spesso di dimensioni enormi. La caduta d'un meteorite in Siberia nel 1908 produsse uno spostamento d'aria che devastò le foreste per un'area enorme, mentre il colpo del suo urto contro la terra solida produsse onde sismiche che furono notate migliaia di miglia lontano. E una depressione in forma di cratere in Arizona, di tre miglia di circonferenza,

si crede sia stata causata dalla caduta d'un ben più grande meteorite in tempi preistorici. Ma simili giganti sono rari, e il meteorite medio è ben poca cosa, generalmente non più grande d'una ciliegia o un pisello.

Shapley ha stimato che alcune migliaia di milioni di stelle cadenti entrano nell'atmosfera terrestre ogni giorno; ciascuna di queste è ridotta in polvere o vapore, e il peso della terra è corrispondentemente accresciuto. Un numero incomparabilmente più grande deve cadere sul sole, valutato a milioni di milioni al secondo, e questo probabilmente costituisce il più largo possibile contributo di materia dispersa, raccolta dal sole. Tuttavia Shapley stima che il peso totale della materia meteoritica che cade sul sole può appena superare le 2000 tonnellate al secondo, che è meno della 2000ma parte del peso perduto per radiazione.

Così sembra certo che sulla bilancia il sole deve perdere peso in ragione di circa 250 milioni di tonnellate al minuto; è come un vasto edificio, che gradualmente scompare di fronte ai nostri occhi; si scioglie come un banco di ghiaccio nella Corrente del Golfo. E lo stesso deve esser vero anche per le altre stelle.

Questa conclusione si accorda bene con i grandi fatti generali della astronomia. Sebbene qui manchino le prove assolute, una larga massa di dati sperimentali

danno a vedere che le stelle giovani sono più pesanti delle stelle vecchie. Esse non pesano semplicemente pochi milioni di tonnellate di più, ma sono parecchie volte più pesanti, spesso 10, 50 o anche 100 volte. Secondo la spiegazione più semplice il fatto è che le stelle perdono la parte più grande del loro peso nel corso della loro vita. Ora un semplice calcolo mostra che il sole, perdendo peso in ragione di 250 milioni di tonnellate al minuto, richiederà milioni di milioni di anni per perdere la parte maggiore, o per lo meno una parte considerevole del suo peso.

E siccome le altre stelle raccontano la stessa storia, noi siamo condotti ad assegnare una vita di milioni di milioni di anni alle stelle in generale.

Noi abbiamo altri mezzi per calcolare la lunghezza della vita delle stelle.

In particolare, il moto delle stelle nello spazio attesta la loro estrema antichità, e assegna di nuovo ad essi vite di milioni di milioni di anni. Noi abbiamo visto quanto lontane l'una dall'altra sono le stelle nello spazio — tanto che è un evento molto raro per due stelle di avvicinarsi sensibilmente l'una all'altra. L'attrazione gravitazionale che le stelle devono esercitare l'una sull'altra in queste occasioni non deve essere in generale così intensa da strappare dei pianeti, ma deve essere sufficiente da incurvare le orbite delle stelle e cambiare la velocità del loro moto.

Nel caso d'un sistema binario che consiste di due masse separate moventisi attraverso lo spazio in legame doppio simili ad una stella unica, l'attrazione gravitazionale d'una stella vicina porterà a una disposizione nuova nelle orbite dei due costituenti della stella binaria.

Adesso tutti questi effetti possono essere calcolati in dettaglio, così che noi conosciamo esattamente quel che c'è da aspettarsi se le stelle hanno realmente vissuto le vite, terribilmente lunghe di milioni di milioni di anni, che noi provvisoriamente abbiamo assegnato ad esse.

E tutto ciò che ci aspettiamo di trovare, troviamo. Tutti gli effetti anticipatamente predetti si verificano, e per quanto noi possiamo dire, la grandezza loro indica che le stelle hanno vissuto per milioni di milioni di anni.

Contro tutto ciò, vi sono prove d'altro genere, che sembrano a prima vista condurre a conclusioni molto differenti. Si deve perciò entrare in maggiori particolari e discutere in una maniera tecnica più elevata; il che ci porterà nella parte più difficile della teoria della relatività.

Come vedremo nel prossimo capitolo, questa teoria ci dice che lo spazio stesso è curvato, nella stessa maniera com'è curva la superficie della terra. La curvatura dello spazio è responsabile dell'incurvamento dei raggi luminosi, osservata nelle eclissi so-

lari, e della curvatura nell'orbita dei pianeti e delle comete, che noi siamo soliti attribuire alla « forza » di gravitazione. Secondo questa teoria, la presenza di materia non deve produrre una « *forza* » che è un'illusione, ma un incurvamento dello spazio. Più materia vi è nell'universo, più lo spazio è incurvato, più rapidamente questo si chiude su sè stesso, e, per conseguenza, più piccole divengono le dimensioni dell'universo — proprio come un circolo la cui curvatura è tanto più grande quanto più piccolo è il suo raggio.

Il ben conosciuto esperimento di elettrizzare una bolla di sapone può rendere il concetto più chiaro. Una bolla di sapone, gonfiata nel modo solito, è lasciata in riposo sul piatto d'una macchina elettrica. Quando la macchina è messa in azione, la bolla diventa sempre più carica d'elettricità, le sue dimensioni continuamente crescono finchè non scoppia.

Qui (a parte lo scoppio finale) la bolla di sapone è analoga all'universo; le sue dimensioni dipendono dalla quantità di carica elettrica, proprio come l'universo dipende dalla quantità di materia che contiene.

Dove tuttavia sono due differenze essenziali. La prima è che una bolla di sapone ha una curvatura inerente alla sua struttura, così che essa è di dimensioni definite, anche quando è scarica; la seconda è che un aumento della carica elettrica fa *crescere* le di-

mensioni della bolla, mentre l'aumento di materia fa *diminuire* le dimensioni dell'universo.

Einstein tentò di ovviare a questa ultima obbiezione, come ad altre, facendo l'universo più simile alla bolla di sapone.

Egli lo immagina con una sua propria curvatura, oltre quella prodotta dalla materia, di tale genere che le sue dimensioni dovrebbero *crescere* se la quantità di materia cresce.

Comunque, vi è sempre una differenza che rimane. Le masse gravitazionali nello spazio si attraggono l'una l'altra, ma le cariche elettriche invece si respingono, perchè sono di elettricità simile, o negativa o positiva.

Come conseguenza di ciò, la bolla elettrizzata è completamente di struttura stabile. Aggiungete un po' di carica in più ed essa si aggiusterà da sè a una nuova, leggermente espansa, posizione di equilibrio. Scotetela, e lei, dopo aver tremato per un po', ritornerà, di nuovo, in quiete. Ma, appunto per ragione della differenza tra attrazione e repulsione, una bolla di sapone carica con materia attraentesi dovrà essere instabile. Il matematico vedrà come questo può essere. E sebbene ci sia una grande differenza tra una bolla di sapone, a due dimensioni, di « film » liquido, e l'universo, una recente investigazione d'un matematico belga, l'abate Lemaître, ha mostrato che la analogia rimane, e che il genere d'universo che noi

abbiamo discusso sarà un edificio instabile; esso non può rimanere in quiete a lungo, ma, da un certo istante in poi, comincerà a espandersi sino a raggiungere dimensioni infinite o a contrarsi in un punto. Quindi lo spazio attuale di un universo antico può sia contrarsi che espandersi, e i vari oggetti, in lui, possono tutti reciprocamente respingersi o precipitarsi addosso l'uno all'altro, con velocità molto grandi.

Le conclusioni di Lemaître sono basate sul concetto d'Einstein d'un universo le cui dimensioni, se in quiete, dipendono dalla quantità di materia presente. Prima, una teoria molto differente era stata proposta dal prof. De Sitter di Leida. Egli suppone che un universo sprovvisto di materia possiede una certa curvatura, impostagli dalle proprietà inerenti dello spazio e del tempo. La presenza della materia produrrà una curvatura addizionale, ma la materia è così sparsa nell'universo attuale che questa sarà trascurabile in confronto con la curvatura risultante dalla natura dello spazio e del tempo. De Sitter, quindi, studiando matematicamente le proprietà del suo universo, ha trovato nel suo spazio una tendenza ad espandersi o a contrarsi, e per tutti gli oggetti una spinta ad allontanarsi tra loro o a precipitarsi l'uno sull'altro.

Da prima il concetto d'universo di De Sitter parve interamente in opposizione con quello precedente

d'Einstein, e i matematici si contentavano d'aspettare qualche cosa per decidere fra i due. Ma l'opera di Lemaître adesso dimostra che i due concetti non sono l'uno contrario dell'altro, ma l'uno complementare dell'altro. Così l'universo instabile d'Einstein si espande, la materia in lui si disperde sempre più finchè tende ad un universo vuoto del genere immaginato da de Sitter. Gli universi d'Einstein e di de Sitter possono, a ragion veduta, essere pensati come posti ai due capi d'una catena, ma noi andremo troppo in là, se li immaginiamo occupati a una specie di gioco del tiro alla fune. Essi semplicemente segnano i limiti di possibili universi e un universo che parte da un punto vicino ad una capo della catena (Einstein) deve gradualmente scivolare lungo la catena sino all'altro capo (De Sitter). Se il nostro universo è costruito su queste linee, la questione che si pone davanti a noi non è a quale capo della catena esso sia, ma come questo abbia proceduto lungo la catena.

I due universi ideali ai due capi della catena sono simili in questo: che gli oggetti in essi debbono o precipitarsi l'uno contro l'altro o sfuggirsi. Questo, dunque, non è vero solo agli estremi della catena, ma è vero sempre. Se l'universo è costruito in accordo col principio di relatività, come è molto probabilmente vero, allora gli oggetti debbono od allontanarsi o precipitarsi l'uno sull'altro.

Queste conclusioni sono di grande interesse, per-

chè è stato, da alcuni anni, rilevato che le remote nebulose spirali, secondo tutte le apparenze, si allontanano dalla terra, e presumibilmente l'una dall'altra, con velocità grandissime che diventano sempre più grandi a mano a mano che noi procediamo nello spazio.

L'ultima nebulosa investigata sul Monte Wilson — una delle più lontane che è stato possibile osservare in un grande telescopio di 100 pollici — s'è trovata possedere una velocità d'allontanamento in ragione di 12500 miglia al secondo. I dottori Hubble e Humason, che hanno fatto uno studio speciale della questione al monte Wilson, trovano che la velocità, con cui le nebulose individuali si allontanano da noi, sono, parlando all'ingrosso, proporzionali alla loro distanza da noi, e così dovrebbe essere, se la cosmologia della teoria della relatività è corretta. Una nebulosa la cui luce impiega dieci milioni di anni per raggiungerci, ha una velocità di circa novecento miglia al secondo, e le velocità delle altre stelle sono, approssimativamente almeno, proporzionali alla loro distanza. Per esempio, la luce della nebulosa, mostrata nella tavola I, impiega cinquanta milioni di anni per raggiungerci e la nebulosa mostra velocità di recessione di circa 4500 miglia al secondo.

Le cifre attuali sono importanti, perchè se noi tracciamo all'indietro i movimenti percorsi dalle nebulose, troviamo che tutte le nebulose devono essere state

raggruppate nei pressi del sole, solo poche migliaia di milioni d'anni fa. Tutto questo ci induce a supporre che noi viviamo in un universo che si espande, e che ha cominciato ad espandersi solamente poche migliaia di milioni di anni fa.

Se tutta qui fosse la storia, ci sarebbe molto difficile assegnare delle vite di milioni di milioni di anni alle stelle; questo deve portare alla conseguenza che esse furono ammassate strettamente insieme, oppure convergevano verso una piccola regione dello spazio, per milioni di milioni di anni, e solo recentemente, durante l'ultima millesima parte della loro esistenza, hanno cominciato a disperdersi. Se noi supponiamo i movimenti di recessione, trovati ultimamente, essere una realtà, è appena possibile di attribuire più di un'età di poche migliaia di milioni d'anni all'universo.

Ma qui v'è luogo a una buona discussione sui dubbi se queste grandi velocità siano vere o no. Esse non sono state misurate con un processo diretto di misura, ma sono state dedotte come applicazione del principio conosciuto di Doppler. E' materia di comune osservazione che il rumore emesso da una tromba di automobile è di tono più profondo, se questa viene verso di noi che se essa se ne allontani. Per lo stesso principio la luce emessa da un corpo che si allontana appare più rossa, in colore, di quella emessa da un corpo che si avvicina a noi, colore in luce

corrispondente al tono del suono. Misurando accuratamente il colore d'una ben definita linea spettrale, gli astronomi sono in grado di scoprire se il corpo emettente si avvicina, o si allontana da noi, e possono valutarne la velocità. E la sola ragione per pensare che le nebulose remote si allontanino da noi è che la luce che noi riceviamo da esse ci appare più rossa di quello che normalmente dovrebbe essere.

Ma vi sono altre cause che possono render più rossa la luce: per esempio, la luce solare è spostata verso il rosso per il semplice peso del sole; è più spostata verso il rosso per la pressione della sua atmosfera; è ancora più spostata verso il rosso, sebbene in modo diverso dal suo passaggio attraverso l'atmosfera terrestre, come noi vediamo all'aurora o al tramonto. La luce emessa da certe stelle di un genere diverso è spostata verso il rosso in maniera che non ci è dato intendere. Di più, nella teoria dell'universo di de Sitter, la sola distanza produce lo spostamento della luce verso il rosso, così che anche se le lontane nebulose sono ferme nello spazio, la luce ci apparirà rossa, e noi saremmo indotti a dedurne che esse si allontanino. Nessuna di queste cause sembra capace di spiegare lo spostamento della luce nebulare, ma recentemente il dott. Zwicky dell'Istituto di California ha suggerito che una causa del tutto diversa di spostamento verso il rosso potrebbe cercarsi nell'attrazione gravitazionale di stelle e nebulose sulla luce che passa vicino ad esse,

la stessa attrazione che è causa dell'incurvamento dei raggi stellari, osservati nelle eclissi del sole.

L'esperimento di Compton mostra che la radiazione può tanto esser deviata quanto diventare rossa se incontra elettroni nello spazio. Se la radiazione interagisce gravitazionalmente con stelle o altra materia nello spazio, si sa che subisce una deviazione e l'ipotesi di Zwicky è che essa diventi anche più rossa.

Per provare questa ipotesi, Ten Bruggencate ha esaminato la luce di un certo numero di ammassi globulari, tutti pressappoco ad eguale distanza da noi, ma scelti in modo che la quantità di materia gravitazionale che interveniva variasse grandemente dall'uno all'altro ammasso. La luce di questi mostrò uno spostamento verso il rosso, che se fosse causato dalla espansione dello spazio, avrebbe dovuto essere lo stesso per tutti gli ammassi stellari. Ma l'osservazione provava che era tutt'altro che uniforme; esso era più probabilmente proporzionale alla quantità di materia intervenuta, esattamente come richiederebbe la teoria di Zwicky, e quantitativamente si trovava in accordo sufficiente con le formole di Zwicky.

Siccome noi possiamo con difficoltà immaginare che gli ammassi stellari che appartengono al nostro proprio sistema galattico, possano sistematicamente allontanarsi da noi, diviene così sempre più debole l'ipotesi avanzata che le nebulose spirali si allontanino da noi, poichè la teoria di Zwicky fornisce una possi-

bile spiegazione dell'osservato spostamento verso il rosso della luce.

Altri fatti d'esperienza suggeriscono che il sospettato allontanamento delle nebulose possa essere solo apparente. Per esempio la luce delle più vicine nebulose non è più rossa ma più azzurra del normale, e siccome la luce può diventare più azzurra solo a causa d'un reale avvicinamento della fonte che emette, questo può solo significare che le più vicine nebulose vengono realmente verso di noi. Di più le velocità apparenti delle nebulose non sono in alcun modo proporzionali alle loro distanze da noi; per esempio, nebulose che si crede stiano alla stessa distanza da noi di sette milioni d'anni di luce mostrano variazioni di 240 miglia al secondo sopra una velocità totale di 640 miglia al secondo.

Tuttavia, se l'universo è costruito nel modo che abbiamo descritto, le nebulose nel loro insieme, debbono indubbiamente allontanarsi da noi; considerazioni teoriche richiedono questo, ma nulla di più, ma esse non ci dicono la velocità del movimento delle nebulose. L'opera di Zwicky e Ten Bruggencate non permette dubbio se vi sia un moto reale di allontanamento; ciò che rimane dubbio è se il moto è quello stesso che gli astronomi hanno dedotto dallo spostamento verso il rosso delle linee spettrali. Presumibilmente la maggior parte di questo effetto può essere attribuito all'effetto indicato da Zwicky, o a cause simili, men-

tre un piccolo residuo rappresenta un moto reale di recessione. E' impossibile determinare la velocità di recessione perchè l'effetto minore è interamente mascherato da quello più grande.

La questione è ancora aperta, ma se si accetta che la parte più grande di queste apparenti velocità è d'altra origine, scompare l'argomento in favore d'una vita corta delle stelle, e noi diventiamo liberi d'assegnare ad esse le lunghe vite di milioni di milioni di anni che i fatti accertati dall'astronomia sembrano richiedere.

Come noi abbiamo già veduto, la totalità delle esperienze suggerisce che il sole ha versato fuori parte della sua massa in forma di radiazione, in ragione di 250 milioni di tonnellate al minuto, per un periodo di alcuni milioni di milioni di anni. Calcoli precisi mostrano che il sole appena nato, deve avere avuto una massa parecchie volte più grande dell'attuale, in conformità con il fatto di generale osservazione, che le stelle giovani hanno una massa molte volte più considerevole delle antiche. In quale forma potè essere immagazzinata tutta la massa che da allora in poi è scomparsa sotto forma di radiazione?

La massa in quiete d'un elettrone o altro corpo carico è in generale enormemente più grande della sua massa d'energia, l'ultima assumendo la sua più grande importanza ad alte temperature. Ora la temperatura al centro del sole è circa 50 milioni di gradi,

e anche qui la massa in quiete rappresenta l'uno su 200 mila della massa totale. E' improbabile che il sole appena nato abbia potuto essere più caldo di così, quindi sembra probabile che la parte più grande della massa originaria del sole sia risieduta nella sua massa in quiete. Se così, solo una conclusione è possibile: il sole originario deve aver contenuto un numero maggiore di protoni ed elettroni, e perciò più atomi di adesso. Questi atomi sono spariti solo in un modo: essi devono essersi annullati e la loro massa deve essere rappresentata dalla massa della radiazione che il sole ha emesso nella sua lunga vita di milioni di milioni di anni.

Questo argomento può essere tuttavia poco attendibile, perchè si ha a che fare con concetti molto al di fuori delle possibilità sperimentali dei laboratori di fisica. Fortunatamente nei laboratori di recente si sono ottenute delle prove molto chiare, che, sebbene lungi dall'essere conclusive, forniscono una valida conferma di questo reale annullamento della materia su larga scala negli abissi dello spazio.

Noi possiamo difficilmente aspettarci di ottenere prove dirette dell'annullamento della materia che ha luogo nell'interno delle stelle, perchè la radiazione prodotta in questo processo può attraversare solo una breve distanza senza essere assorbita dalla sostanza della stella. Questa ne sarebbe riscaldata, e la corri-

spondente energia sarebbe, in ultima analisi, emessa dalla stella sotto forma ordinaria di luce e di calore.

Un'analisi matematica dei fatti dell'astronomia suggerisce che il processo di annullamento atomico sarebbe probabilmente spontaneo come la disintegrazione attiva. Se è così, esso non sarebbe limitato nell'interno caldo delle stelle, ma dovrebbe essere in via di svolgimento, dovunque la materia astronomica esiste in abbondanza sufficiente.

Nella sua forma più semplice il processo consisterebbe nell'annullamento simultaneo di un singolo elettrone e un singolo protone. Noi possiamo figurarci l'avvenimento a vivaci colori se pensiamo che queste due particelle cariche si vengano incontro, sotto la loro mutua attrazione, con velocità sempre crescente, finchè non si saldano insieme; le loro cariche elettriche si neutralizzano, e la loro energia combinata vien posta in libertà sotto un'unica scarica di radiazione, come un « fotone » della specie discussa a pagina 61.

Noi abbiamo visto che la massa è « conservata » quando un atomo emette della radiazione. L'atomo perde una certa massa, ma questa non è distrutta; essa è portata via dal fotone di cui rappresenta la massa.

Se un protone ed un elettrone si annichilano, il fotone risultante deve avere una massa eguale a quelle combinate del protone e dell'elettrone che sono scomparsi. Adesso la massa combinata d'un elettrone

e d'un protone è conosciuta con grande precisione, perchè essa è esattamente eguale alla massa d'un atomo d'idrogeno.

Così se è un fenomeno reale l'annullamento della materia, fotoni di massa esattamente eguale a quella dell'atomo d'idrogeno dovrebbero attraversare lo spazio in gran numero, e alcuni di essi cadere sulla Terra.

Vi possono essere tuttavia fotoni con massa ancora più grande, perchè noi possiamo immaginare che un atomo di un certo elemento improvvisamente venga annullato e che la sua energia si disperda interamente come un fotone la cui massa sarebbe eguale a quella dell'intero atomo. Una possibilità è di speciale interesse. Sebbene noi crediamo che tutta la materia sia in ultima analisi costituita da protoni ed elettroni, vi è un aggregato particolarmente compatto di quattro protoni e due elettroni che possiamo considerare come una nuova e indipendente unità. Essa costituisce una parte cospicua della radiazione emessa dalle sostanze radioattive, ed è comunemente conosciuta come particella α.

L'atomo di elio, che è l'atomo più semplice dopo l'idrogeno, è costituito da una particella α e da due elettroni che girano con un movimento orbitale intorno ad essa. Poichè una particella α ha la stessa carica elettrica di due protoni, essa può essere condotta all'annichilimento dall'unione con due elettroni, nel

qual caso il fotone risultante dovrebbe avere la stessa massa d'un atomo di elio.

Fotoni di una di queste due specie dovrebbero avere una massa senza paragone più grande di quella della radiazione ordinaria, e dovrebbero essere così immediatamente riconoscibili. I fotoni potrebbero riguardarsi come pallette tutte moventesi alla stessa velocità, la velocità della luce. Se una certa quantità di pallette sono lanciate fuori da un cannone tutte con la stessa velocità, i proiettili con massa maggiore apporteranno maggiore danno, e quindi avranno potere penetrante più grande. Lo stesso avviene con gruppi di fotoni di specie diversa; i fotoni più massicci hanno il potere penetrante più grande. Vi è una formola matematica che ci permette di dedurre il potere penetrante d'un fotone dalla sua massa, ed essa mostra che fotoni con la massa dell'idrogeno o dell'elio dovrebbero avere un enorme potere di penetrazione.

Noi abbiamo già parlato della radiazione altamente penetrante, comunemente chiamata « radiazione cosmica » che cade sulla Terra dallo spazio esterno, e che è capace di penetrare diversi « yards » di piombo. Non è tuttavia certo se questa sia una vera e propria radiazione o semplicemente una corrente di elettroni; ma la prima alternativa sembra la più probabile perchè gli elettroni dovrebbero muoversi con un'energia inconcepibilmente alta per aprirsi a forza una via

attraverso diversi « yards » di piombo prima d'essere ridotti in quiete.

La questione per adesso appare risoluta. Un fascio di elettroni che cadesse sulla terra dallo spazio esterno, risentirebbe l'azione del campo magnetico della Terra, e quindi sarebbe influenzato nel suo movimento.

Se gli elettroni si movessero abbastanza veloci per avere il potere penetrante della radiazione cosmica, un calcolo mostrerebbe che quasi tutto il fascio di elettroni sarebbe stornato dalla sua traiettoria e colpirebbe la Terra vicino ad uno o all'altro dei poli.

Nessuna proprietà del genere dimostrano i raggi cosmici; differenti osservatori, operando in differenti regioni della Terra, trovano che la radiazione ha la stessa intensità dovunque. Per esempio, la spedizione anglo-australiana-neo zelandese dell'Antartico trovò a 250 miglia dal polo magnetico sud la stessa intensità, che altri sperimentatori hanno trovato in regioni, lontane dai poli.

Questo fatto rende plausibile l'ipotesi che la « radiazione cosmica » sia vera radiazione, e non semplicemente di natura corpuscolare. Se così è, noi possiamo dedurre la massa dei fotoni della radiazione dal potere penetrante osservato, per mezzo della formola già citata.

Il potere penetrante di questa radiazione è stato studiato con cura estrema dal professore Millikan e

dai suoi collaboratori a Pasadena, dal prof. Regener di Stoccarda, e da molti altri. Essi hanno tutti trovato che la radiazione è una mescolanza d'un certo numero di costituenti di potere penetrante molto diverso, o, che è la stessa cosa, una mescolanza di fotoni di massa diversa.

Ora sembra altamente significativo che i due costituenti di potere penetrante maggiore consistono di fotoni le cui masse, per quanto noi possiamo dirlo, sono eguali alle masse d'un atomo d'idrogeno e d'un atomo d'elio; in altre parole sono essi dei fotoni del tipo, che ci dovremmo aspettare se nelle profondità dello spazio avesse luogo il fenomeno dell'annichilimento di protoni e di particelle α, i primi in unione con un elettrone, che neutralizzerebbe le loro cariche, i secondi in unione con due elettroni, che produrrebbero lo stesso effetto.

Dobbiamo dichiarare che le masse dei fotoni non possono essere misurate con precisione assoluta, cosicchè non si può dire con certezza che esse siano proprio quelle che ci dovremmo aspettare da tali processi di annichilimento. Tuttavia l'accordo è abbastanza buono, per quel che l'esperimento lo permetta; in ogni caso vi è un accordo a meno del 5 per cento, e il potere penetrante della radiazione non può essere osservato con precisione maggiore. Una tale concordanza è troppo buona perchè possa essere ammessa come una pura cincidenza, così che sembra al-

tamente probabile che questa radiazione abbia la sua origine nel reale annichilimento di protoni e di elettroni.

Tuttavia la questione non è ancora chiusa e il punto di vista che io ho esposto non è universalmente accettato dai fisici.

Il prof. Millikan, in particolare, ha suggerito che la radiazione cosmica possa avere la sua origine dal processo di formazione di atomi pesanti da atomi più leggeri, e così interpreta questo fatto come una prova che « il creatore sia tuttora al lavoro ». Per fare l'esempio più semplice, un atomo d'elio contiene esattamente quattro atomi d'idrogeno — cioè quattro elettroni e quattro protoni — ma la sua massa è solamente eguale a quella di 3.97 atomi d'idrogeno.

Così se quattro atomi d'idrogeno dovessero essere martellati insieme per formare un atomo d'elio, la massa superflua, corrispondente a 0,03 atomi d'idrogeno, prenderebbe la forma di radiazione, e potrebbe essere emesso un fotone con una massa eguale al 3 per cento della massa dell'atomo d'idrogeno.

Non possiamo dire che esso sarà proprio irradiato, perchè se quattro atomi d'idrogeno cadono insieme per formare un atomo d'elio, sembra probabile che il processo avvenga in stadi successivi, e così ne risulterebbe l'emissione d'un certo numero di piccoli fotoni anzichè di uno grande.

Però anche se tutta l'energia liberata formasse un

unico fotone, esso avrebbe un potere penetrante minore della reale radiazione cosmica.

Se, comunque, 129 atomi d'idrogeno cadessero insieme per formare un atomo di xenon, il singolo fotone emesso nel processo avrebbe circa la stessa massa d'un atomo d'idrogeno, e quindi avrebbe quasi lo stesso potere penetrante del secondo più penetrante costituente della reale radiazione cosmica. Con questa opinione sull'origine della radiazione, le componenti meno penetranti possono essere, facilmente e in modo naturale, spiegate come aventi origine dalla sintesi d'atomi meno complessi dello xenon. Invece la componente più penetrante sembra presentare una difficoltà insuperabile per una tale interpretazione. Se i suoi fotoni vengon fuori dal martellamento di atomi di idrogeno a formare un unico atomo enorme, quest'ultimo deve necessariamente avere un peso atomico di circa 500, il che sembra essere oltre i limiti del probabile. Sembra altrettanto improbabile che la seconda componente più penetrante possa esser prodotta dalla sintesi di atomi di xenon o altri elementi di simile peso atomico, poichè tutti questi atomi sono di una estrema rarità.

Così, io penso che qualunque sia l'origine delle varie componenti meno penetranti, le due più penetranti invece possono essere molto plausibilmente spiegate con l'ipotesi dell'annichilimento della materia.

La quantità di radiazione che cade sulla Terra è enorme. Millikan e Cameron l'hanno stimata un decimo di quella ricevuta da tutte le stelle del cielo eccettuato, naturalmente, il sole.

Fuori, nelle profondità dello spazio, al di là della via Lattea, la radiazione altamente penetrante deve essere circa altrettanto abbondante che alla superficie della Terra. Ma poichè la luce stellare lo è molto meno, così, facendo una media su tutto lo spazio, questa radiazione altamente penetrante è probabilmente il tipo più comune di radiazione.

La sua grande quantità si spiega in parte con il suo alto potere penetrante, che le procura quasi l'immortalità.

Un raggio di radiazione, propagandosi attraverso lo spazio per milioni di milioni di anni, non incontrerà materia sufficiente a assorbirla in quantità apprezzabile. Così noi dobbiamo pensare che lo spazio sia percorso tuttora da quasi tutta la radiazione cosmica, che sia stata mai generata da che il mondo esiste. I suoi raggi ci arrivano come messaggeri non solo delle regioni più lontane, ma anche dalle profondità più remote del tempo.

E se non c'inganniamo, i loro messaggi ci annunciano che in quqalche luogo, in qualche tempo, nella storia dell'universo, la materia è stata annientata, e che questo processo è avvenuto non in piccola, ma in grandiosa quantità.

Se noi ammettiamo che le prove astronomiche dell'età delle stelle e le prove fisiche sulla radiazione altamente penetrante stabiliscano insieme che la materia realmente può essere annientata o piuttosto trasformata in radiazione, allora questa trasformazione diventa uno dei fondamentali processi dell'universo. La conservazione della materia scompare interamente dalla Scienza, mentre la conservazione della massa e dell'energia diventano la stessa cosa. Così le tre maggiori leggi di conservazione, quelle della conservazione della materia, della massa e dell'energia, si riducono ad una. Una semplice fondamentale entità che può prendere varie forme, materia e radiazione in particolare, è conservata in tutti gli scambi; la somma totale di questa entità forma la completa attività dell'universo, che non cambia la sua quantità totale. Ma essa cambia continuamente qualità, e questi cambiamenti sembrano essere le operazioni principali che hanno luogo nell'universo che forma l'umana sede materiale. Tutte le testimonianze, che hanno un valore, mi sembrano indicare che il cambiamento è, con possibili insignificanti eccezioni, sempre in una medesima direzione — sempre materia solida si volatizza in radiazione senza sostanza: sempre il tangibile si trasmuta nell'intangibile.

Questi concetti sono stati discussi con una certa ampiezza perchè ovviamente hanno una speciale im-

portanza per la questione della struttura fondamentale dell'universo.

Nell'ultimo capitolo noi diremo come la meccanica delle onde riduce l'intero universo a un sistema d'onde. Gli elettroni e i protoni consistono di onde di un genere; la radiazione di onde di genere differente. La discussione del presente capitolo ha suggerito che materia e radiazione non possono costituire due forme di onde distinte e non trasmutabili l'una nell'altra. Le due possono trasmutarsi e l'una diventar l'altra come la crisalide diventa farfalla: — al che alcuni scienziati, come vedremo in seguito, potrebbero trovar necessario aggiungere « e così noi possiamo pensare che la farfalla ridiventa crisalide ».

Questo naturalmente non vuol dire che materia e radiazione siano la stessa cosa. La trasformazione della materia in radiazione ha sempre un certo significato, sebbene il concetto adesso sembri incomparabilmente meno rivoluzionario di quel che sembrò quando ne avanzai per la prima volta l'ipotesi ventisei anni fa. Anche se conoscessimo con certezza tutti i fatti, che ignoriamo, sarebbe difficile esprimere la situazione accuratamente in linguaggio non tecnico, ma possibilmente noi siamo ben vicini alla verità se pensiamo della materia e della radiazione come di due specie di onde, una che gira descrivendo dei circoli, e un'altra che procede in linea retta.

Le onde di questa seconda specie naturalmente

vanno con la velocità della luce, quelle invece che costituiscono la materia vanno più lentamente. Moshanafa e altri hanno proposto di esprimere così, tutta la differenza tra materia e radiazione: che la materia sia una sorta di radiazione congelata che si propaga con velocità minore di quella sua normale. Noi abbiamo già visto (pag. 68) come la lunghezza d'onda dipenda dalla sua velocità. La dipendenza è tale che una particella propagantesi con la velocità della luce deve avere precisamente la stessa lunghezza d'onda d'un fotone di egual massa. Questo fatto notevole, come parecchi altri, induce a pensare che si possa dimostrare essere la radiazione semplicemente materia che si muove con la velocità della luce, e la materia essere radiazione che si muove con velocità minore di quella della luce. Ma la scienza qui ha ancora molta strada da percorrere.

Per riassumere i principali risultati di questo e del precedente capitolo, la tendenza della fisica moderna è di risolvere l'intero universo materiale in onde e nient'altro che onde. Queste onde sono di due specie: onde, per così dire, prigioniere che chiamiamo materia, e onde libere, che noi chiamiamo radiazione o luce.

Se l'annientamento della materia ha luogo, il processo è semplicemente quello di svincolare onde di energia imprigionate e lasciarle libere di percorrere lo spazio. Questi concetti riducono l'universo intero a

un mondo di luce potenziale o esistente, e non sembra più sorprendente che le unità fondamentali della materia debbano mostrare molte delle proprietà delle onde.

Capitolo IV

LA RELATIVITA' E L'ETERE

Noi abbiamo mostrato come la fisica moderna riduca l'universo a un sistema di onde. Se troviamo difficile immaginare onde senza un mezzo concreto in cui esse si propaghino, allora parliamo di onde in un etere o eteri. Credo che fu il defunto Lord Salisbury che definì l'etere come il sostantivo del verbo « vibrare ». Se di questa definizione ci serviamo per il momento, noi abbiamo il nostro etere, senza comprometterci molto quanto alla sua natura. E questo ci rende possibile di riassumere molto concisamente le tendenze della fisica moderna: la fisica moderna si sforza di far rientrare l'universo intero dentro uno o più eteri.

Sarà bene allora di studiare le proprietà fisiche di questi eteri con un po' di cura, poichè in essi si deve nascondere la natura vera dell'universo.

E' bene stabilire le nostre conclusioni sin da principio. Ed è, in breve, che gli eteri e le loro vibrazioni, le onde che formano l'universo, sono con tutta probabilità delle finzioni. Con questo non si dice che essi non abbiano esistenza alcuna: essi esistono nelle

nostre menti, altrimenti noi non potremmo discutere su di essi; e qualcosa deve esistere al di fuori delle nostre menti per mettere nel nostro pensiero questo o un altro concetto. A questo qualcosa noi possiamo temporaneamente assegnare il nome di « realtà » ed è questa realtà che è l'oggetto di studio della scienza. Ma noi troveremo che questa realtà è qualcosa di molto differente da quello che gli scienziati di cinquant'anni fa pensavano dell'etere, delle vibrazioni e onde. Così che, giudicando con i modelli che essi se ne facevano e parlando, per il momento, il loro linguaggio, gli eteri e le loro onde non hanno alcuna realtà.

Eppure sono le cose più reali di cui noi abbiamo conoscenza o esperienza, e sono così reali, come nessun'altra cosa può esserlo per noi.

Il concetto di etere è entrato nella scienza due secoli fa o più. Quando le proprietà macroscopiche già conosciute della materia non furono sufficienti a spiegare un fenomeno, gli scienziati superarono la difficoltà creando un etere ipotetico, penetrante da per tutto, a cui essi attribuivano le proprietà necessarie per la spiegazione del fatto. E naturalmente vi era una tentazione speciale di ricorrere a questo procedimento nei problemi che sembravano parlare in favore di una « azione a distanza ». E d'altra parte vi è tanto buon senso ad asserire che la materia può solamente agire lì dove è, e non può assoluta-

mente agire dove non è, che chi dica il contrario difficilmente può tirarsi dietro la maggioranza dei suoi seguaci. Descartes era arrivato sino a dire che il semplice fatto dell'esistenza di corpi separati, a una certa distanza, era una prova sufficiente dell'esistenza d'un mezzo tra essi.

Così, poichè non c'era una massa materiale a trasmettere un'azione meccanica, come quella esercitata da un magnete su di una sbarra d'acciaio, o dalla terra su di una mela che cade, la tentazione ad invocare un etere, penetrante da per tutto, divenne irresistibile, e quello che può esser definito l'abito dell'etere invase la scienza. Perciò Maxwell si espresse così: « Gli eteri furono inventati perchè vi navigassero i pianeti, per costituire atmosfere elettriche ed effluvi magnetici, per trasmettere sensazioni da un corpo all'altro, finchè tutto lo spazio fu riempito diverse volte dall'etere ». Infine vi erano quasi tanti eteri quanti problemi insoluti in fisica.

Cinquant'anni dopo, solamente uno di questi eteri sopravviveva nelle menti degli scienziati seri: l'etere luminoso, che si supponeva trasmettesse le radiazioni. Le proprietà necessarie a compiere questa funzione sono state definite, con precisione sempre crescente, da Huyghens, Thomas Young, Faraday e Maxwell. Esso era immaginato come un mare di gelatina, in cui le onde potrebbero propagarsi come le vibrazioni o ondulazioni attraverso una gelatina. Queste onde

erano le radiazioni che, come noi sappiamo, possono prendere una qualunque delle varie forme: luce, calore, radiazione infrarossa e ultravioletta, onde elettromagnetiche, raggi X, raggi γ e radiazione cosmica.

Il fenomeno astronomico dell'« aberrazione della luce » come parecchi altri, mostra che, se un tale etere esiste, la terra e tutti gli altri corpi mobili debbono attraversarlo senza difficoltà. O, se noi prendiamo posizione sulla terra e studiamo i fenomeni da questo punto di osservazione, l'etere deve passare attraverso gli interstizi fra la terra e gli altri corpi solidi senza incontrare ostacoli: « come il vento attraverso un boschetto di alberi », per adoperare la famosa ma inesatta similitudine di Thomas Young. Essa è inesatta perchè, nel fatto concreto, il vento agisce sugli alberi; il movimento delle loro foglie, frasche e rami dà indicazioni sulla sua forza. Ma si può dimostrare che il moto attraverso l'etere non può in grado minimo disturbare i corpi solidi, che sono in riposo sulla terra, o agire sui loro movimenti se essi si muovono; noi non dobbiamo aggiungere la resistenza dell'etere alla resistenza dell'aria, discutendo su che cosa impedisca alla nostra automobile d'andare a velocità maggiore.

Così se un etere esiste, è affatto indifferente, sia che il vento d'etere soffii sopra di noi con velocità d'un miglio all'ora, o di mille miglia.

Questo è in concordanza con i principi dinamici che Newton ha enunciato nei suoi *Principia*:

> *Corollario V*: I movimenti di corpi chiusi in un dato spazio relativamente ad essi stessi sono i medesimi, sia che lo spazio sia in quiete sia che si sposti uniformemente in linea retta, senza alcun movimento circolare.

Newton continua:

> Una chiara prova di questo ci è fornita dall'esperimento del bastimento, dove tutti i moti avvengono nello stesso modo sia che il bastimento sia fermo, sia che proceda con moto rettilineo uniforme.

Questo principio generale mostra che nessun esperimento predisposto a bordo d'un bastimento e limitato ai confini di esso, potrà mai indicare la velocità del bastimento in un mare tranquillo. Infatti è materia d'osservazione comune che, con tempo calmo, noi non possiamo dire in quale direzione il bastimento si muova, senza guardare al mare. Se il vento d'etere avesse un effetto sui corpi terrestri, il disturbo prodotto darebbe un'indicazione sulla velocità con cui soffia, come l'oscillare dei rami d'un albero dà un'indicazione sulla velocità del vento ordinario. Così come stanno le cose, è necessario ricorrere ad altri metodi.

Sebbene un navigatore nell'oceano non possa determinare la velocità del suo bastimento, con un'osser-

vazione limitata al bastimento, egli può farlo facilmente se è libero d'osservare il mare. Se egli lascia cadere un filo a piombo in mare, si produrrà un increspamento circolare; ma ogni marinaio sa che il punto in cui il filo entra nell'acqua non rimarrà al
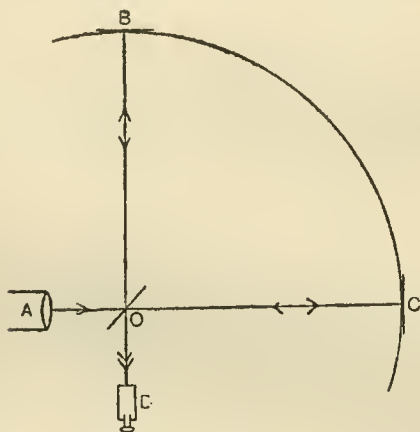
Fig. 1. - *Diagramma per illustrare l'esperimento Michelson-Morley*

La luce dalla sorgente A è proiettata sullo specchio semiargentato O, cosicchè metà è riflessa lungo OB e il resto continua lungo OC, di una lunghezza eguale ad OB, nel caso concreto circa 12 yards. Degli specchi in B e C riflettono la luce all'indietro in O, e metà di ciascun fascio di raggi passa quindi in un piccolo telescopio D. La quantità di cui uno ritarda rispetto all'altro è paragonato con il ritardo che si ottiene quando tutto l'apparecchio è girato di 90°. Questo procedimento elimina ogni errore causato da una leggera differenza di lunghezza tra i due tratti OB e OC.

centro del circolo. Il centro del circolo sta fisso nell'acqua, ma il punto d'entrata del filo è trascinato dal movimento del bastimento, così che la velocità con cui il punto d'entrata nell'acqua si sposta dal centro del circolo ci dà la velocità del bastimento sul mare.

Se la terra nella stessa maniera solca un mare di etere, un esperimento concepito su una linea simile, può rivelare la velocità del suo moto. Il famoso esperimento Michelson-Morley fu concepito precisamente a questo scopo. La nostra terra era il bastimento, e il laboratorio fisico dell'università di Cleveland (Ohio) era il punto d'entrata del filo a piombo nel mare. Il lasciar cadere il filo a piombo era rappresentato dall'emissione d'un segnale luminoso, ed era supposto che le onde luminose che costituivano questo segnale dovevano produrre delle increspature nel mare d'etere.

Il progredire dell'increspamento non era seguito direttamente, ma potevano ottenersi informazioni sufficienti, disponendo degli specchi, che riflettessero il segnale, facendolo tornare al punto di partenza. Questo rendeva possibile di determinare il tempo che la luce impiegava a percorrere il cammino doppio avanti e indietro.

Se la terra fosse ferma nell'etere, il tempo del doppio percorso d'una data lunghezza sarebbe sempre lo stesso senza riguardo alla sua direzione nello spazio. Se la terra si muovesse in un mare d'etere in

direzione verso Est, allora è facile vedere che per un percorso doppio prima da Est verso Ovest, e poi da Ovest verso Est, occorrerebbe un tempo leggermente maggiore che non per egual lunghezza in direzione Nord-Sud e Sud-Nord. In questo non è implicito nessun principio più recondito di quello contenuto nella esperienza comune, che si impiega più tempo a spingere una barca a remi per cento metri contro corrente e poi per altri cento metri con la corrente, che a remare per 200 metri di traverso alla corrente; nel primo caso noi procediamo più lentamente contro corrente e andiamo più presto con il favore della corrente, ma il tempo che guadagniamo dopo non è sufficiente a farci riprendere quello precedentemente perduto remando contro corrente. Se due rematori di egual forza partono simultaneamente per i due percorsi, quello che rema attraversando la corrente arriva prima, e la differenza fra i loro tempi d'arrivo darà un'indicazione sulla velocità della corrente. Si presumeva che, precisamente alla stessa maniera, la differenza di tempo impiegato dai due raggi di luce nell'esperienza di Michelson-Morley dovesse rivelare la velocità del moto della terra attraverso l'etere.

L'esperimento fu eseguito molte volte, ma non si trovò differenza alcuna di tempo. Così con l'ipotesi che la nostra terra fosse circondata da un mare di etere, l'esperimento sembrava dimostrare che la sua

velocità attraverso questo mare d'etere fosse *zero*. Secondo tutte le apparenze, la terra stava permanentemente in riposo nell'etere, mentre il sole e tutto l'universo girava intorno a lei; l'esperimento sembrava riportarci indietro alla concezione precopernicana dell'universo.

Tuttavia era impossibile che questa dovesse essere la vera interpretazione, perchè si sapeva che la terra si muove intorno al sole con una velocità di circa 20 miglia al secondo, e gli esperimenti erano abbastanza sensibili per rivelare velocità d'un centesimo di questa.

Fitzgerald nel 1893, e Lorentz indipendentemente nel 1895, suggerirono un'altra interpretazione. Gli sperimentatori avevano infatti tentato di far percorrere simultaneamente avanti e indietro ai due raggi di luce due tratti di egual lunghezza. Senza perdere nulla dell'essenziale dell'esperimento, noi possiamo immaginare che la lunghezza dei due percorsi sia stata misurata o paragonata con aste da misura. Come si sa, Fitzgerald e Lorentz si domandarono se queste aste, o il percorso misurato da esse, conservassero la loro lunghezza esatta mentre erano trasportate attraverso l'etere. Se un bastimento si muove attraverso l'oceano, la pressione del mare sulla prua produce una contrazione della sua lunghezza; cioè, per così dire, è compresso — una piccola frazione di

pollice — tra il mare che cerca d'impedire alla prua d'avanzare e l'elica che cerca di spingere avanti la poppa. Alla stessa maniera un'automobile che si muove nell'aria si contrae, come se fosse serrata tra la pressione dell'aria contro la sua parte anteriore e il moto in avanti delle sue ruote posteriori. Se l'apparecchio di Michelson e Morley si contrae allo stesso modo, il percorso con e contro corrente sarà più corto di quello attraverso la corrente.

Questa riduzione di lunghezza avrebbe per effetto di compensare lo svantaggio della corsa con e contro corrente. Una contrazione della quantità esattamente giusta compenserebbe completamente questo, in modo che questo percorso e l'altro di traverso alla corrente richiederanno precisamente tempi eguali. Così, suggerivano Fitzgerald e Lorentz, è possibile rendersi conto del risultato *nullo* dell'esperimento.

L'idea non era completamente fantastica o ipotetica, perchè Lorentz poco dopo mostrò che la teoria elettrodinamica allora corrente richiedeva che appunto una tale contrazione dovesse accadere nel caso reale. Sebbene la contrazione non fosse affatto analoga a quella dei bastimenti o delle automobili, questa dava un'idea sufficientemente esatta del meccanismo. Effettivamente Lorentz mostrò che se la materia è di struttura puramente elettrica, costituita unicamente di particelle cariche elettricamente, il

moto attraverso l'etere deve avere per effetto che le particelle cambino del pari la loro posizione e non tornino allo stato di quiete relativa, finchè il corpo non si sia contratto d'una certa quantità calcolabile. E questa quantità è precisamente quella necessaria per spiegare il risultato *nullo* dell'esperimento Michelson-Morley.

Questo non solamente spiegava pienamente e completamente perchè l'esperienza Michelson-Morley fosse fallita, ma di più dimostrava che ogni asta materiale doveva necessariamente contrarsi, precisamente a quel tanto da celare il moto della terra attraverso l'etere, così che tutti gli esperimenti simili erano condannati *a priori* al fallimento.

Ma altri tipi di aste da misura sono conosciute nella scienza; fasci di luce, forze elettriche, e così via, possono essere adoperati per misurare le distanze da un punto ad un altro e fornire così il mezzo per ottenerne una misura. Si pensò che dove aste materiali avevano fallito, mezzi ottici ed elettrici potevano avere successo. Il tentativo è stato fatto, ripetutamente e in varie forme — i nomi del defunto Lord Rayleigh, di Brace, di Trouton sono eminenti in questa serie di sperimentatori. E ogni volta è mancato il successo. Se la terra ha una velocità x attraverso l'etere, ogni apparecchio che mente umana può inventare falsa la misura di x aggiungendo una ve-

locità spuria, esattamente eguale a $-x$, e ridà così, la risposta negativa dell'esperienza originale di Michelson e Morley. Il risultato di vari anni di esperimenti difficili era che le forze della natura sembravano, senza eccezione, far parte di una cospirazione, perfettamente organizzata, per nascondere il moto della terra attraverso l'etere. Questo, naturalmente, è il linguaggio del profano, non dello scienziato. Quest'ultimo preferisce dire che le leggi di natura rendono impossibile di mettere in evidenza il moto della terra attraverso l'etere. Il contenuto filosofico delle due esposizioni è precisamente lo stesso. Alla stessa guisa l'inventore che non è scienziato può esclamare disperato che le forze della natura cospirano, per impedire alla sua macchina del moto perpetuo di funzionare mentre lo scienziato sa che l'ostacolo è molto più serio che non sia una cospirazione: esso è una legge naturale. E così lo zelante, ma poco illuminato, riformatore sociale e il politicante ignorante sono egualmente propensi a vedere le cospirazioni più nere dietro l'opera di leggi economiche che rendono impossibile di estrarre un quarto da un vaso d'una pinta (1).

Nel 1905 Einstein proponeva la supposta nuova

---

(1) Pinta e *quarto* sono misure di capacità inglesi, corrispondenti a litri 0,56 e 1,14. (N. d. T.).

legge della natura nella seguente forma: « la natura è così formata che è impossibile determinare il moto assoluto con qualsiasi esperimento ». Ed era la prima formulazione del principio di relatività.

In modo alquanto singolare era un ritorno al pensiero e alle dottrine di Newton. Nei suoi *Principia,* Newton ha scritto:

« E' possibile che in remote regioni delle stelle fisse o forse molto al di là, vi siano alcuni corpi in quiete assoluta, ma è impossibile sapere, dalle posizioni di un corpo rispetto ad un altro nelle nostre regioni, se uno di questi mantiene la stessa posizione rispetto a quei corpi lontani. Ne segue che la quiete assoluta non può essere determinata dalla posizione di corpi nelle nostre regioni ».

Ciò che ha precisato aggiungendo:

« Io non ho riguardo, in questo luogo, a un mezzo, supposto che esista, che liberamente pervade gli interstizi fra le parti dei corpi ».

In altre parole Newton ha posto in chiaro che senza un etere che penetri da per tutto, è impossibile determinare la velocità assoluta del movimento attraverso lo spazio e così ha mostrato che un tale mezzo fornirebbe un sistema fisso di riferimento, rispetto al quale il moto di tutti i corpi potrebbe essere misurato.

I due secoli che vennero dopo hanno visto la scien-

za attivamente occupata a discutere le proprietà di questo supposto mezzo, e adesso Einstein d'un colpo lo priva della sua più importante proprietà, che è di fornire un riferimento in quiete, rispetto al quale può essere misurata la velocità vera di ogni movimento.

Il principio di Einstein può essere formulato per altra via, che mette più in chiaro il suo significato. Agli astronomi è fallita la ricerca dei corpi di Newton in quiete assoluta, « nelle remote regioni dello spazio, o forse al di là », cosicchè moto e quiete sono termini puramente relativi. Un bastimento che si mette alla cappa è in quiete solo in senso relativo — relativo alla terra; ma la terra è in moto relativamente al sole, e il bastimento con essa. Se la terra si fermasse nel suo giro intorno al sole, il bastimento diverrebbe in quiete relativa rispetto al sole, ma ambedue si muoverebbero tra le stelle circostanti. Arrestate il moto del sole tra le stelle, e rimane sempre il moto di tutto il sistema galattico delle stelle relativamente alle lontane nebulose. E queste remote nebulose si allontanano o si avvicinano l'una verso l'altra con velocità di centinaia di miglia al secondo o forse più; andando più in là nello spazio, noi non solo non troviamo riferimenti al riposo assoluto, ma incontriamo invece velocità sempre maggiori.

Se non abbiamo a guida un mezzo che pervade

tutto l'universo, noi non possiamo mai dire che cosa intendiamo per riposo assoluto, finchè non l'abbiamo trovato. Il principio d'Einstein ci dice adesso che per tutto quello che riguarda i fenomeni osservabili della natura, noi siamo liberi di definire il « riposo assoluto » nel modo che più ci piace. Questo è una dichiarazione sensazionale. Noi abbiamo perfettamente il diritto di dire, se così preferiamo, che questa stanza è in quiete, e la Natura non ci dirà di no. Se la Terra ha una velocità di 1000 miglia al secondo attraverso l'etere, possiamo supporre allora che l'etere soffii per questa stanza « simile a un vento in un boschetto di alberi » con una velocità di 1000 miglia al secondo. E il principio di relatività assicura che tutti i fenomeni naturali, in questa stanza, non risentono effetto alcuno da questo vento di 1000 miglia al secondo; e sarebbe pure lo stesso se il vento soffiasse a 100.000 miglia al secondo — o se al contrario questo vento non ci fosse del tutto.

Non è affatto sorprendente e neanche nuovo che tutti i fenomeni meccanici, che non hanno niente a che fare con il supposto etere, debbano restare gli stessi; noi abbiamo visto che questo era conosciuto da Newton. Ma se un etere realmente esiste, sembra strano che i fenomeni ottici ed elettrici debbano essere gli stessi sia che l'etere che li propaga sia in riposo o soffii sopra e attraverso di noi a migliaia di mi-

glia al secondo. Inevitabilmente ciò solleva il problema di sapere se l'etere, al cui spostamento si attribuisce questo vento, ha effettivamente un'esistenza reale o non è che una semplice finzione della nostra fantasia. Perchè noi dobbiamo sempre ricordare che l'esistenza dell'etere è solamente un'ipotesi, introdotta nella scienza dai fisici, che convenendo che tutto dovesse ammettere una spiegazione meccanica, ne arguivano che dovesse esservi un mezzo meccanico per trasmettere le onde luminose e tutti gli altri fenomeni elettrici e magnetici.

Per giustificare la loro convinzione, essi hanno mostrato che un sistema di tensioni, pressioni e fili di trasmissione può essere immaginato nell'etere per trasmettere tutti i fenomeni naturali attraverso lo spazio e consegnarli sino al punto lontano, dove essi sono osservati — come un sistema di fili trasmette la forza meccanica dal cordone del campanello sino al campanello. Il sistema richiesto di tensioni, pressioni e fili trasmittenti fu trovato col tempo, ma si mostrò eccessivamente complicato. Forse non c'era da sorprendersi; l'etere non solamente doveva trasmettere gli effetti osservati, ma, così facendo, doveva celare la sua propria esistenza. Non poteva evidentemente essere una cosa semplice fare in modo che un unico e identico meccanismo trasmettesse precisamente il medesimo fenomeno sia che lo sperimenta-

tore fosse in riposo, sia che fosse lanciato per l'etere a 1000 miglia al secondo, mentre eseguiva i suoi esperimenti. E alla prova dei fatti, il meccanismo così escogitato si offrì all'obiezione fatale che esso poteva trattare alla stessa guisa due serie di fenomeni, solo postulando due meccanismi distinti nei due casi.

Noi possiamo illustrare l'obiezione discutendo un semplice fenomeno in particolare. Secondo questo schema di trasmissione eterea, caricando un corpo d'elettricità, noi produciamo uno stato di tensione nell'etere circostante, proprio come se forzassimo un corpo estraneo a penetrare in un mare di gelatina. Se due corpi ambedue in riposo nell'etere sono carichi d'elettricità simile, essi si respingono e la loro repulsione si suppone che si trasmetta per mezzo di pressioni, che questo stato di tensione crea nell'etere.

Supponiamo tuttavia che due corpi carichi, invece d'essere in riposo nell'etere, si muovano attraverso questo con la stessa precisa velocità di 1000 miglia al secondo da Est verso Ovest. Siccome i corpi sono in riposo l'uno rispetto all'altro, il principio di relatività richiede che i fenomeni osservabili siano precisamente gli stessi, come quando i due corpi erano in riposo assoluto nell'etere. Ma un meccanismo del tutto diverso produce i fenomeni in questo secondo caso. La repulsione è in parte il risultato d'uno stato di tensione dell'etere, ma non tutta. Il rimanente è

dovuto a forze magnetiche, e queste non possono essere spiegate come tensioni o pressioni nell'etere, ma sono da attribuire a complicati sistemi di cicloni e di vortici.

Fenomeni elettromagnetici più complessi sono in generale prodotti da una combinazione di forze elettriche e magnetiche, e i due generi di meccanismi entrano in differente proporzione secondo le differenti velocità di moto attraverso l'etere. Così il tentativo di trovare una spiegazione meccanica di questi fenomeni implica l'uso di due distinti meccanismi, per produrre identicamente lo stesso fenomeno.

Tuttavia si può dimostrare che un etere concepibile può adattarsi ad ambedue i meccanismi. Ma se pure questo potesse essere provato, una tale dualità nel meccanismo richiesto per produrre un singolo fenomeno osservabile sarebbe così contrario al modo ordinario d'operare in natura, che non potremmo non sentire d'essere su una strada sbagliata. La teoria della gravitazione di Newton avrebbe avuto poche probabilità d'essere accettata se avesse postulato un doppio meccanismo per spiegare la caduta d'una mela da un albero, aggiungendo che uno operava in estate e l'altro d'autunno.

Newton stesso dava molta importanza alla necessità d'evitare meccanismi duplicati di questo tipo. I suoi *Principia* contengono una serie di « Regole del

ragionamento filosofico », di cui le prime due suonano così:

REGOLA 1

Noi non dobbiamo ammettere maggior numero di cause naturali di quelle necessarie e sufficienti per spiegare le loro apparenze.

A questo scopo i filosofi dicono che la Natura non fa niente invano, e il più è vano, se il meno è sufficiente; perchè la Natura ama la semplicità e non gradisce la pompa di cause superflue.

REGOLA 2

Quindi agli stessi effetti noi dobbiamo assegnare, per quanto è possibile, le stesse cause.

Così per la respirazione nell'uomo o negli animali; la caduta di una pietra in Europa o in America; la luce del fuoco della nostra cucina e quella del sole; la riflessione della luce sulla terra o sui pianeti.

Qui vi è, tuttavia, un fatto più importante di questo, contro la supposizione che l'etere luminoso trasmetta radiazioni e azioni elettriche.

Noi abbiamo visto che elettricità, magnetismo e luce tutti sembrano cospirare per impedirci di mettere in evidenza il moto attraverso l'etere, ma rimane la gravitazione; questa è stata sempre tenuta a parte dagli altri fenomeni fisici, ed è sembrata essere di natura differente. Ora la legge di gravitazione im-

plica l'idea di distanza: asserisce che le forze gravitazionali tra due corpi dipendono dalla distanza che li separa, ed esse sono eguali per distanze eguali. Così, in teoria almeno, la legge di gravitazione fornisce un mezzo per misurare le distanze.

Un etere che trasmette le azioni elettriche può difficilmente trasmettere del pari le azioni gravitazionali, perchè tutte le proprietà con cui noi lo possiamo definire sono state già adoperate per render conto della trasmissione che esso fa delle forze elettriche e magnetiche.

L'asta rigida da misura che la legge di gravitazione fornisce, si può quindi credere che sia immune dalla contrazione Fitzgerald-Lorentz, e con un tale metro a nostra disposizione noi possiamo essere in grado di misurare la velocità della Terra nello spazio.

Esaminiamo questa possibilità nel caso concreto più semplice. Idealizziamo la nostra Terra e pensiamola come un globo perfetto. Ogni punto della sua superficie è ora alla medesima distanza dal centro e quindi la forza di gravità sarà la stessa da per tutto. Se questa Terra ideale è posta in moto attraverso l'etere con una velocità di mille miglia al secondo, l'ordinaria contrazione di Fitzgerald-Lorentz causerà una diminuzione del suo diametro di circa 30 piedi nella direzione del moto; e poichè gli estremi del diametro, che s'è contratto, saranno più vicini al centro

della terra degli altri punti della superficie terrestre, tutti gli oggetti mobili sulla superficie della terra tenderanno a sdrucciolare verso questi due punti. Sempre che esista, questo effetto particolare sarà troppo piccolo per essere osservato sulla nostra terra, perchè le irregolarità delle montagne e delle vallate, che noi abbiamo per un momento pensato non esistessero, rendono senza importanza una contrazione di 30 piedi. Pure vi sono altri fenomeni gravitazionali di tipo simile e abbastanza notevoli per rendere possibile l'osservazione, in particolare il moto del perielio dei pianeti. E questi mostrano che la gravitazione si collega, per così dire, con le altre forze naturali per tener celato il moto attraverso l'etere; se le aste materiali da misura subiscono la contrazione di Fitzgerald-Lorentz, anche le misure di lunghezza fornite dalla legge di gravitazione fanno altrettanto. Sebbene la gravitazione non possa essere trasmessa attraverso l'etere, è difficile vedere che i metri della legge di gravitazione possano essere soggetti a questa contrazione. Noi dobbiamo concluderne che la contrazione di Fitzgerald-Lorentz non esiste del tutto, e questo ci costringe ad abbandonare l'etere meccanico.

Noi siamo costretti a ricominciare di nuovo. Le nostre difficoltà sono tutte sorte dalla nostra iniziale assunzione che ogni cosa in Natura, e le onde luminose in particolare, ammettono una spiegazione meccanica: noi abbiamo tentato in breve di trattare l'uni-

verso come una grande macchina; ma poichè questo ci ha condotti su una via sbagliata, dobbiamo cercare un altro principio che ci faccia da guida.

Una guida più sicura che il fuoco fatuo delle spiegazioni meccaniche è fornito dal principio di Guglielmo di Occam: « *Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* » (Noi non dobbiamo assumere l'esistenza d'un'entità, finchè non vi siamo costretti). Il suo contenuto filosofico è identico con la prima « Regola del ragionamento filosofico» di Newton ricordata sopra. Esso è puramente negativo; toglie di mezzo qualcosa, nell'esempio attuale, l'ipotesi d'un universo meccanico con un etere, trasmettente azioni meccaniche attraverso lo « spazio vuoto », ma non ci dà altro da mettere al suo posto.

Per chiudere la breccia il modo ovvio è d'introdurre il principio di relatività: « la Natura è tale che è impossibile determinare il moto assoluto con un esperimento qualsiasi ». A prima vista questo può sembrare uno strano modo di colmare il vuoto derivato dalla rinuncia all'etere: le due ipotesi sono di natura così differente che può sembrare incredibile che la seconda debba essere in grado di prendere il posto lasciato dalla prima. Di più nel caso attuale l'una è la esatta antitesi dell'altra: la funzione principale dell'etere era di fornire un riferimento fisso — tutte le altre proprietà erano rese necessarie dai nostri sforzi di conciliare lo schema osservato della natura con i

nostri presupposti preliminari. Nella sua essenza la teoria della relatività implica semplicemente la negazione di questi presupposti preliminari, cosicchè le due ipotesi sono esattamente antitetiche.

Proprio a causa di ciò, la questione è posta nettamente, e l'esperimento è in grado di decidere ciò. Il verdetto non lascia adito a dubbi; noi abbiamo visto che gli sforzi sperimentali per scoprire l'etere sono falliti, e così facendo noi abbiamo confermato l'ipotesi della teoria della relatività. Ogni singolo esperimento ogni volta effettuato ha deciso, per quanto noi sappiamo, in favore dell'ipotesi della relatività. Per questa via l'ipotesi d'un etere meccanico è stata detronizzata, e il principio di relatività collocato al suo posto. Il segnale della rivoluzione fu un breve lavoro di Einstein, pubblicato nel giugno 1905. E con la sua pubblicazione, lo studio dell'intima essenza della Natura dagli scienziati ingegneri passa ai matematici.

Sino a questo punto, noi abbiamo pensato lo spazio come qualcosa intorno a noi, e il tempo come qualcosa che scorre sopra di noi, o anche dentro di noi. Le due cose sembravano essere, in maniera fondamentale, differenti. Noi possiamo tornare sui nostri passi nello spazio, ma non nel tempo; noi possiamo muoverci lentamente o velocemente o niente del tutto, nello spazio, a nostra scelta, ma non possiamo regolare il fluire del tempo; esso pro-

cede alla stessa maniera sempre incontrollabile da parte nostra. Tuttavia i primi risultati di Einstein, come furono interpretati da Minkowsky quattro anni dopo, implicano la sorprendente conclusione che la natura non sa niente di tutto questo.

Noi abbiamo già visto che la materia è di natura elettrica, così che in ultima analisi tutti i fenomeni fisici sono elettrici. Minkowsky ha dimostrato che secondo la teoria della relatività occorre pensare che tutti i fenomeni elettrici non accadono separatamente nello spazio e nel tempo, come si era pensato sino allora, ma nello spazio e nel tempo così perfettamente saldati tra loro, che è impossibile scoprire la saldatura; così intimamente, che tutti i fenomeni naturali non sono in grado di dividere il prodotto in spazio e tempo separati.

Se noi saldiamo insieme lunghezza e larghezza, noi abbiamo una superficie — poniamo un campo di cricket. I differenti giocatori lo dividono nelle sue due dimensioni in maniera differente; la direzione è « avanti » per chi batte, è « indietro » per chi la riceve, ed è « da destra a sinistra » per l'arbitro.

Ma la palla del cricket non conosce queste distinzioni; essa va dove è mandata, diretta soltanto dalle leggi naturali che trattano la superficie del campo da cricket come un tutto indivisibile, lunghezza e larghezza essendo saldate in un'unità indifferenziata.

Se noi poi saldiamo con la superficie (come un campo di cricket) a due dimensioni l'altezza (di una dimensione), otteniamo uno spazio a tre dimensioni. Finchè noi facciamo tutto questo in vicinanza della terra, noi possiamo sempre dire che la gravità separa il nostro spazio in « altezza » e « superficie »; per esempio la direzione dell'altezza è quella direzione in cui è più difficile gettare una palla di cricket a una data distanza. Ma fuori, nello spazio, la natura non ci dà nessun mezzo per fare questa distinzione; quindi le sue leggi non conoscono niente dei nostri concetti puramente locali di orizzontale e verticale, e trattano lo spazio come constante di tre dimensioni, tra cui nessuna distinzione è possibile.

Con un processo costruttivo noi siamo passati da una dimensione a due, e poi da due a tre. E' più difficile di passare da tre a quattro perchè noi non abbiamo esperienza alcuna d'uno spazio quadrimensionale. E lo spazio quadrimensionale che noi particolarmente dobbiamo discutere, è specialmente difficile ad immaginare perchè una delle sue dimensioni non dev'essere spaziale, ma temporale; per capire la teoria della relatività noi siamo chiamati ad immaginare uno spazio quadrimensionale in cui tre dimensioni spaziali sono saldate a una dimensione temporale.

Per aver un'idea delle nostre difficoltà, immaginiamo da prima solamente uno spazio a due dimen-
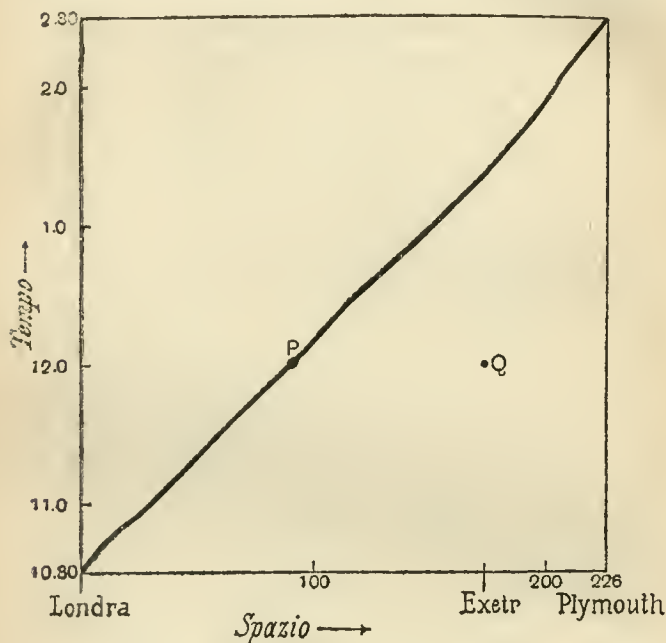
Fig. 2. - *Diagramma per illustrare il moto d'un treno nello spazio e nel tempo.*

sioni, ottenuto unendo insieme una dimensione dello spazio ordinario, per esempio una lunghezza, e una dimensione del tempo. La fig. 2 può aiutarci per

comprendere il concetto. Essa rappresenta, in forma di diagramma, la corsa del Cornisch Riviera Express che lascia Paddington alle 10,30 a. m. e raggiunge Plymouth, 226 miglia distante, alle 2,30 p. m. La linea orizzontale rappresenta le 226 miglia del tratto congiungente le due stazioni, e la linea verticale rappresenta l'intervallo di tempo dalle 10,30 a. m. alle 2,30 p. m. in un giorno in cui il treno fa il suo viaggio.

La linea segnata più grossa rappresenta il movimento del treno. Per esempio il punto P su questa linea corrisponde al tempo 12.00 e alla distanza 91½ miglia da Paddington, significando che il treno a mezzogiorno ha percorso 91½ miglia. D'altra parte un punto come Q rappresenta un luogo vicino ad Exeter a mezzogiorno; Q non giace sulla linea piena, perchè il treno non arriva a Exeter per mezzogiorno. L'intera area del diagramma rappresenta tutti i possibili luoghi della linea tra Paddington e Plymouth in tutti i tempi tra le 10,30 e le 2,30. Così, riunendo insieme una lunghezza, 226 miglia di distanza, e un tempo, cioè quattro ore del giorno, noi abbiamo ottenuto un'area avente una dimensione temporale e l'altra spaziale.

Nella stessa maniera possiamo immaginare le tre dimensioni dello spazio e una dimensione del tempo saldate insieme, da formare un volume a quattro dimensioni, che noi possiamo descrivere come un

« continuo ». Allora il principio di relatività, secondo l'interpretazione di Minkowsky, stabilisce che tutti i fenomeni elettromagnetici possono essere pensati come producentisi in un continuo a quattro dimensioni — tre dello spazio e una del tempo — *in cui è impossibile separare lo spazio dal tempo in maniera assoluta.*

In altre parole, il continuo è tale che in esso spazio e tempo sono così completamente uniti, così perfettamente immersi l'uno nell'altro che le leggi naturali non possono fare distinzioni fra essi, giusto come, in un campo di cricket, lunghezza e larghezza sono saldati in una unità, e la palla da cricket, quando è lanciata, non fa nessuna distinzione tra essi, trattando il campo semplicemente come una superficie in cui lunghezza e larghezza, separatamente considerate, hanno perduto il loro significato.

Può essere obiettato che la fig. 2 non dà nessun aiuto per immaginare questo continuo; che essa è puramente un diagramma; che non rappresenta realmente l'unione del tempo vero con la lunghezza, ma semplicemente d'una lunghezza con un'altra lunghezza, che una volta conosciuta dà un'area — in questo caso la pagina del libro. Noi non dobbiamo attardarci a confutare questa obiezione, perchè la nostra conclusione finale sarà che il continuo quadridimensionale, è, nello stesso senso, puramente diagrammatico. Esso fornisce semplicemente un conve-

niente sistema di riferimento per esporre il modo di operare della natura, proprio come nella fig. 2 ci dà un mezzo conveniente per rappresentare la corsa del treno.

Tuttavia, perchè noi possiamo rappresentare tutti i fenomeni naturali con questo mezzo, esso deve corrispondere a una realtà obiettiva. Ma la sua divisione in spazio e tempo non è oggettiva; essa è puramente soggettiva. Se voi ed io ci moviamo con velocità differenti, lo spazio e il tempo significano per voi qualche cosa di differente da quello che essi significano per me; noi dividiamo il continuo in spazio e tempo in maniera diversa, proprio come, se noi stessimo con la fronte in direzioni differenti, « di fronte » e « a sinistra » hanno signficato diverso per noi due, o come i due giocatori di cricket dividono il campo di cricket in maniera diversa, senza che la palla di cricket ne sappia niente.

Pure se io cambio la mia velocità, frenando la mia vettura, o saltando in un autobus in corsa, io da me stesso mi adatto alla divisione in spazio e tempo. E l'essenza della teoria della relatività è che la natura non sa nulla di queste divisioni del continuo in spazio e tempo; con le parole di Minkowsky: « spazio e tempo separati svaniscono in pure ombre e solamente una sorta di combinazione dei due ha una realtà ». Questo mette in luce che l'antico etere era inevitabilmente destinato a scomparire — esso si assu-

meva il compito di « riempire » lo spazio, e così dividere il continuo obiettivamente in spazio e tempo. E le leggi di natura, non riconoscendo la possibilità d'una tale divisione, non potevano ammettere l'esistenza dell'etere come una possibilità.

Così se noi abbiamo bisogno di render visibile la propagazione delle onde luminose e delle forze elettro-magnetiche, pensandole come perturbazioni dell'etere, il nostro etere deve essere qualcosa di molto differente dall'etere meccanico di Maxwell e Faraday. Esso può essere concepito come avente una struttura quadri-dimensionale, riempiendo tutto il continuo, e così estendendosi per tutto lo spazio e il tempo, nel qual caso noi possiamo far uso dello stesso etere. Oppure, se noi sentiamo bisogno d'un etere tridimensionale, esso deve essere soggettivo in un modo che l'etere di Maxwell e Faraday non era. Ciascuno di noi deve allora portarsi con sè il suo etere, così come dopo un acquazzone ciascun osservatore ha il suo proprio arcobaleno. Se cambia la mia velocità io mi creo da me un nuovo etere, nella stessa maniera che se io faccio alcuni passi durante un acquazzone con il sole, io mi procuro da me un nuovo arcobaleno. E a meno che l'universo che si dilata descritto sopra (pag. 88) sia una pura illusione, ogni etere deve dilatarsi e allargarsi. Se una struttura di questo tipo possa chiamarsi un etere, è una questione aperta; sarà difficile di trovargli proprietà identiche a quelle del vecchio e-

tere del secolo decimonono. Al contrario, perchè l'ipotesi della relatività è proprio la negazione esatta dell'esistenza del vecchio etere, è chiaro che un etere in accordo col principio di relatività è l'opposto esatto dell'antico etere. Essendo così, sembra fatica vana chiamarlo con lo stesso nome.

Io non penso che vi sia una reale divergenza di opinione tra gli scienziati competenti su questo punto. Sir Arthur Eddington onestamente dice che circa la metà dei fisici asseriscono che esso esiste, l'altra metà negano la sua esistenza, ma, continua: « Ambedue le parti pensano la stessa cosa, e sono divisi solo dalle parole ». Sir Oliver Lodge, che è stato in questi ultimi anni il più accanito sostenitore dell'esistenza obiettiva dell'etere, scrive: « L'etere, nelle sue varie forme di energia domina la fisica moderna, sebbene alcuni evitino il termine « etere » a causa del significato attribuitogli nel secolo decimonono e preferiscono il termine « spazio ». Non è il caso di discutere del termine da usare ».

Evidentemente se è indifferente parlare di etere o di spazio, dell'esistenza o non esistenza dell'etere, allora anche i suoi ardenti propugnatori non debbono pretendere per esso una tale obiettiva esistenza. Io penso che il modo migliore di concepire l'etere sia quello di considerarlo come un mezzo di rappresentazione, allo stesso modo che il diagramma della figura a pag. 138 è un modo di rappresentare un certo

concetto; la sua esistenza è altrettanto reale o irreale, quanto quella dell'equatore o del polo Nord o del meridiano di Greenwich. E' una creazione dello spirito, non della sostanza solida. Noi abbiamo visto che l'*etere,* che è il medesimo per noi tutti, perchè distinto dal mio e dal vostro etere, deve essere supposto pervadere così tutto il tempo come tutto lo spazio e che nessuna valida distinzione può esser fatta tra la sua esistenza nello spazio e nel tempo. La divisione del tempo a cui noi ragguagliamo la dimensione temporale è naturalmente a portata di mano, cioè la divisione in giorni, ore, minuti e secondi. E se non si vuol pensare che questa divisione sia qualcosa di materiale, ciò che nessuno fa o ha mai fatto, non si è nemmeno giustificati di pensare l'etere come qualcosa di materiale.

Nella nuova luce della teoria della relatività, noi vediamo che un etere materiale che riempia lo spazio può soltanto esistere se accompagnato da un etere materiale riempiente il tempo: i due stanno insieme o cadono insieme. Così noi abbiamo motivi sicuri di pensare l'etere come una pura astrazione; esso è una « abitazione locale e un nome ». Ma una « abitazione locale » per che scopo?

L'universo consta solo di onde e noi introducemmo da principio l'etere come il sostantivo del verbo « vibrare ». Questa concessione deve essere adesso abbandonata, perchè l'etere assolutamente senza

sostanza che noi abbiamo considerato è così incapace di vibrare come lo è l'equatore o il meridiano di Greenwich.

Di qui non segue naturalmente che niente di carattere ondulatorio si possa propagare attraverso questo mezzo immateriale. Noi parliamo di onde di suicidio, di onde di calore e non pretendiamo l'esistenza d'un mezzo per convogliare queste onde. L'onda di calore può propagarsi lungo l'equatore e un'onda di suicidio lungo il meridiano di Greenwich.

Si può pensare che, sebbene non riusciamo ad avere prove dirette dell'esistenza dell'etere, pure si hanno prove del passaggio attraverso di esso di qualche cosa della natura d'un'onda, in tutti i fenomeni che in generale sono presi a dimostrare il carattere ondulatorio della luce: anelli di Newton, frange di diffrazione o fenomeni di interferenza in generale. Ma, comunque, non è così, perchè, di nuovo, noi non abbiamo conoscenza alcuna delle supposte onde tranne dove sono particelle materiali per rivelarcele. I fenomeni ora menzionati non ci danno la conoscenza di cose attraversanti l'etere, ma solamente di cose che cadono sulla materia. Per quanto noi sappiamo, assolutamente niente si própaga, che sia più concreto di un'astrazione matematica, come il mezzogiorno astronomico che si propaga alla superficie della terra, mentre la terra gira su sè stessa sotto il sole. Tuttavia io posso immaginare un fisico che a questo

punto intervenga con un'obiezione; egli parlerà pressappoco così:

Fisico. La luce del sole fuori, all'aperto, rappresenta un'energia che è stata generata nel sole. Otto minuti fa era nel sole; ora è qui. Di conseguenza deve essere venuta dal sole, e così deve essersi propagata per lo spazio che c'è tra il sole e noi. Mi sembra, allora, che l'energia deve propagarsi attraverso lo spazio.

Matematico. Poniamo la questione sin da principio nel modo più preciso possibile. Fissiamo la nostra attenzione su una definita particella di luce solare, per esempio quella che cade sul mio libro nello spazio d'un secondo quando io seggo fuori alla piena luce del sole. Questa, voi dite, era nel sole otto minuti fa. Quattro minuti fa era, io suppongo, fuori nello spazio, a mezza via tra noi e il sole. Due minuti fa era a tre quarti di cammino verso di noi?

Fisico. Sì; ed è questo quel che io dico propagarsi per lo spazio; l'energia si muove da un punto all'altro dello spazio.

Matematico. I vostri concetti implicano che ad un dato istante due punti differenti dello spazio sono occupati da quantità diverse d'energia. Se fosse così, sarebbe possibile, naturalmente, di calcolare o misurare quanto essa sia in un dato posto, a un dato istante. Se assumete che il sole è in riposo nell'etere, e che

la luce solare si propaga attraverso l'etere, allora, io ammetto, voi date una risposta al problema: Maxwell l'ha data nel 1863. Così se voi assumete che il sole, e naturalmente l'intero sistema solare con lui, si muova di moto continuo nell'etere con una velocità conosciuta, poniamo 1000 miglia al secondo, voi potete dare egualmente una risposta definita al vostro problema. Ma — e qui è il punto cruciale della questione — le due risposte sono differenti. Quale delle due è la buona?

Fisico. Evidentemente la prima è buona se il sole è in riposo nell'etere, e la seconda se il sole ha una velocità costante di 1000 miglia al secondo.

Matematico. Sì, ma noi siamo d'accordo che « in riposo nell'etere » non significa niente e una « velocità costante di 1000 miglia al secondo per l'etere » pure non significa niente. Se noi tentiamo di attribuire un significato a ciò, tutti i fenomeni naturali ci costringono ad ammettere lo stesso significato per ambedue. Di conseguenza io trovo la vostra risposta senza significato.

Nella stessa maniera noi troviamo che tentare di dividere l'energia nelle differenti parti dello spazio conduce ad un'ambiguità che non può essere risoluta. Sembra naturale supporre che il nostro tentativo è sbagliato e che la partizione dell'energia attraverso lo spazio è illusoria.

Di nuovo il tentativo di riguardare il fluire dell'energia come una corrente concreta è sventato. Con una corrente di acqua noi possiamo dire che una certa goccia d'acqua è ora qui, ora lì; con l'energia non è così. Il concetto del fluire dell'energia è un'immagine utile, ma conduce ad assurdità e contraddizioni se noi lo trattiamo come una realtà. Il prof. Poynting dette una formola ben conosciuta che ci dice come può immaginarsi che si propaghi l'energia; ma la sua rappresentazione è troppo artificiosa per essere trattata come una realtà; per esempio, se un ordinario ago calamitato è elettrizzato e lasciato in riposo, la formola dà una rappresentazione dell'energia emessa senza fine intorno alla calamita, che somiglia ad una catena d'innumerevoli bimbi che si danno la mano in cerchio, e danzano, per l'eternità intorno all'albero della cuccagna. Il matematico riporta l'intero problema nella realtà trattando questo fluire d'energia come un'astrazione matematica. Di più egli è costretto ad andare oltre, e trattare l'energia stessa come un'astrazione matematica — la costante d'integrazione d'una equazione differenziale.

Se egli fa così, non è più assurdo che vi siano due differenti valori per le quantità d'energia in una data regione dello spazio di quel che non sia l'esistenza di due tempi differenti nello stesso spazio, come un tempo campione e l'« ora legale » in New-York, o un tempo civile e uno siderale in un osservatorio. Se

il matematico si esime dal far questo, egli assume la difesa d'una posizione non mantenibile: che l'universo sia costruito, in maniera concreta, d'energia nelle sue forme di materia e radiazione, e che l'energia non possa essere localizzata nello spazio. Noi discuteremo questa posizione più avanti (pag. 194).

Prima di procedere a considerare altri sviluppi della teoria della relatività, sembra appropriato di sostituire la parola « etere » con la parola « continuo » che significa lo « spazio » quadridimensionale già immaginato, in cui le tre dimensioni dello spazio sono completate dal tempo, agente come quarta dimensione.

Le leggi della natura esprimono un divenire nel tempo e nello spazio e così naturalmente sono stabilite con riferimento a questo continuo quadridimensionale. Discutendo queste leggi quantitativamente, è stato trovato conveniente di immaginare tanto lo spazio quanto il tempo in maniera molto speciale e molto artificiale. Noi non misureremo le lunghezze in piedi o centimetri, ma in unità di circa 186.000 miglia, che è la distanza che la luce percorre in un secondo. E noi non misureremo il tempo in secondi, ma con una misteriosa unità eguale al secondo, moltiplicato per $\sqrt{-1}$ (la radice quadra di — 1). I matematici chiamano $\sqrt{-1}$ un numero « immaginario » perchè non ha esistenza al di là della loro immaginazione. Così che noi misuriamo il tempo in modo

molto artificiale. Se siamo interrogati perchè adoperiamo questi magici sistemi di misura, la risposta è che essi pare siano i sistemi naturali di misura; in ogni caso essi ci permettono d'esprimere i risultati della teoria della relatività nel modo più semplice.

Se ci interrogano ancora perchè è così, noi non possiamo rispondere. Se potessimo, noi vedremmo più profondamente di quanto adesso facciamo, nell'intimo mistero della natura.

Conveniamo d'usare il misterioso sistema di misura adesso descritto, e costruiamo di conseguenza il nostro continuo. Minkowsky ha dimostrato che se l'ipotesi della relatività è vera, le leggi naturali non debbono distinguere tra il tempo e lo spazio; se il continuo è costruito nella maniera ora descritta, le tre dimensioni dello spazio e la quarta del tempo entrano come fattori assolutamente eguali nella formulazione di ogni legge naturale. Se non è così, la legge è in disaccordo col principio di relatività.

Era stato subito osservato che la famosa legge di gravitazione di Newton non è conforme alla condizione adesso stabilita, così che o è falsa la legge di Newton o l'ipotesi della relatività. Einstein ha esaminato quali modificazioni devono essere portate alla legge di Newton per renderla conforme con l'ipotesi della relatività, e ha trovato che i cambiamenti necessari implicano il prodursi di tre nuovi fenomeni che non erano contenuti nella vecchia legge di Newton.

In altre parole, la natura fornisce tre vie distinte di decidere con l'osservazione tra la legge di Einstein e quella di Newton. Se si faceva l'esperienza il risultato era favorevole alla legge di Einstein in ogni caso.

Quel che noi chiamiamo la « legge di gravitazione » è, parlando a rigore, niente di più che una formola matematica che dà l'accelerazione di un corpo mobile — cioè in che rapporto cambia la sua velocità. La legge di Newton si presta da sè ad una interpretazione meccanica piuttosto ovvia: un corpo in moto è come se fosse « deviato dal suo movimento rettilineo uniforme » (per usare la frase di Newton) da una forza proporzionale all'inverso del quadrato della distanza. Di conseguenza Newton suppone che una tal forza esista; egli l'ha chiamata « forza di gravità ». La legge di Einstein non si presta a una tale interpretazione in termini di forze, o, in caso, ad un'altra interpretazione meccanica qualunque; ancora un altro indizio, se ce ne fosse bisogno, che l'età della scienza meccanica è passata. Ma si trova che essa ammette una facile interpretazione geometrica. L'effetto di una massa materiale gravitazionale non era, come Newton ha immaginato, di produrre una « forza », ma di produrre una distorsione del continuo quadridimensionale nel suo intorno. Un pianeta che si muove o una palla di cricket non era più

deviata dal suo moto rettilineo uniforme dalla spinta d'una forza, ma dalla curvatura d'un continuo.

E' già difficile abbastanza immaginare un continuo a quattro dimensioni senza distorsioni, e molto più difficile è immaginare le sue distorsioni; ma l'analogia del caso a due dimensioni di una area può aiutare. Superfici come un campo di cricket o la pelle della nostra mano sono continui a due dimensioni; l'analogo delle distorsioni prodotte da masse gravitazionali sono rispettivamente rialzi del terreno o vene. La palla da cricket che rotola sopra un rialzo del terreno è « deviata dal suo movimento rettilineo » come una cometa o un raggio di luce passando vicino al sole. E la combinata distorsione del continuo quadridimensionale prodotto da tutta la materia nell'universo ha per effetto che l'universo si richiude su sè stesso, così che lo spazio diventa « finito »: che è il risultato già discusso nel secondo capitolo.

Spazio e tempo come entità separate sono già scomparsi dall'universo; persino le forze gravitazionali adesso scompaiono, non lasciando altro che un continuo curvo. La scienza del secolo decimonono ha ridotto l'universo a un gioco di forze di due specie soltanto — forze gravitazionali che governano i maggiori fenomeni dell'astronomia, non contando i nostri corpi e tutto quello che esiste sulla terra, e forze elettromagnetiche, che controllano altri fenomeni fisici come la luce, il calore, il suono, la coesione, l'ela-

sticità etc. E' naturale che ci si meravigli che le forze elettromagnetiche sopravvivano, e come esse figurino nel continuo. Sebbene la questione non sia definitivamente risolta, sembra probabile che anche queste siano destinate a seguire la via delle forze di gravità. Weyl ed Eddington successivamente proposero teorie di questo tipo che sono state trovate suscettibili d'obiezioni; il destino della nuova teoria d'Einstein è ancora sulla bilancia. Ma qualunque teoria alla fine prevalga, sembra certo che, in una maniera o in un'altra, le forze elettromagnetiche saranno risolte semplicemente in un nuovo tipo di curvatura del continuo, essenzialmente differente nella sua geometria, ma non in altro rispetto, da quello i cui effetti noi descriviamo come gravitazione. Se è così, l'universo sarà risoluto in uno spazio vuoto quadridimensionale, totalmente sprovvisto di sostanza, e totalmente privo d'un modello adeguato, se si eccettuano le gobbe, qui piccole là grandi, qui intense là deboli, nella configurazione dello stesso spazio.

Quel che abbiamo detto della propagazione dell'energia, come il passaggio d'un raggio di luce dal Sole alla Terra, adesso si riduce a niente di più che a una linea nel continuo che si estende circa otto minuti nel tempo e per circa 92.500.000 miglia di lunghezza. Adesso vediamo che noi non possiamo rappresentarcelo come una propagazione di qualcosa di concreto od obiettivo attraverso lo spazio senza

prima dividere il continuo obiettivamente in spazio e tempo, ed è proprio questo che è proibito.

Per riassumere, una bolla di sapone con rughe e irregolarità sulla sua superficie è forse la migliore rappresentazione in termini semplici e familiari, del nuovo universo rivelatoci dalla teoria della relatività. L'universo non è l'interno della bolla di sapone, ma la sua superficie, e noi dobbiamo sempre ricordarci che, mentre la superficie d'una bolla di sapone ha soltanto due dimensioni, l'universo ne ha quattro. E la sostanza di cui questa bolla è gonfiata, la schiuma di sapone, è spazio vuoto saldato con tempo puro.

Capitolo V

NELLE ACQUE PROFONDE

Studiamo con più dettaglio questa bolla di sapone, gonfiata di vuoto, con la quale la scienza moderna raffigura l'universo. La sua superficie è segnata da irregolarità e da rughe. Due specie principali di rappresentazioni possono essere distinte, che noi interpretiamo come materia e radiazione, gli ingredienti di cui pare costituito l'universo.

Le rappresentazioni della prima specie ci danno la radiazione. Ogni radiazione si propaga con la velocità costante di 186.000 miglia al secondo. Se il treno in fig. 2 (pag. 138) ha mantenuto una velocità costante d'un miglio al secondo, il suo moto sarà rappresentato da una linea perfettamente retta, inclinata di 45° sulla verticale. Una successione di treni tutti moventisi uniformemente con velocità d'un miglio al secondo sarà rappresentata da una quantità di linee tutte parallele a questa. Adesso cambiano la nostra velocità da un miglio al secondo a 186.000 miglia al secondo e sostituiamo la direzione da Londra a Plymouth con tutte le direzioni nello spazio. Il diagram-

ma a pag. 138 adesso è sostituito da un continuo a quattro dimensioni, e la radiazione è rappresentata da una serie di linee, facenti tutte lo stesso angolo (45°) con la direzione del tempo.

Le rappresentazioni della seconda specie ci danno la materia. Questa si muove per lo spazio con ogni sorta di velocità, ma tutte le velocità sono piccole in confronto con la velocità della luce. In una prima grossolana approssimazione, noi possiamo riguardare la materia in riposo nello spazio, e procedente solo nel tempo, così che il segno che la rappresenta, si estende nella direzione positiva del tempo, nella stessa maniera che, se il treno, la cui corsa è rappresentata nella fig. 2, si fosse fermato a una stazione, la sua fermata sarebbe rappresentata da un tratto di linea verticale.

Il segno che rappresenta la materia tende a ingrossarsi, formando linee larghe sulla superficie della bolla di sapone, come larghe strisce di colore su di una tela.

Questo è la ragione per cui la materia dell'universo tende ad aggregarsi in larghe masse — stelle ed altri corpi astronomici. Queste bande o strisce sono conosciute con il nome di « linee universo »; la linea universo del sole ci dà la posizione del sole nello spazio per ogni istante di tempo. Noi possiamo rappresentare questo in un diagramma come quello della fig. 3.
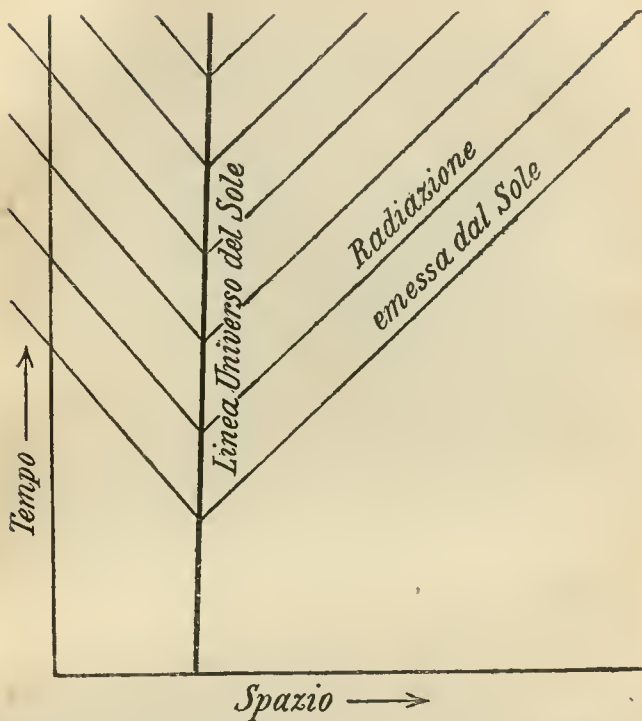
Fig. 3. - *Diagramma per illustrare il moto del Sole e la sua radiazione nello spazio e nel tempo* (cf. fig. 2).

Come un cavo telegrafico è formato da un gran numero di fili fini, così la linea universo d'un corpo grande come il sole è formato da innumerevoli linee universo più piccole: le linee universo degli atomi

separati, di cui il sole è composto. Qua e là questi tenui fili entrano nel cavo principale, o l'abbandonano, quando un atomo è incorporato o proiettato fuori dal sole.

Noi possiamo pensare la superficie della bolla di sapone come un arazzo i cui fili sono le linee universo degli atomi.

In quanto gli atomi sono permanenti e indistruttibili, questi fili — linee universo degli atomi — traversano tutto il piano del disegno nella direzione progressiva del tempo. Ma se gli atomi sono annientati, il filo finisce improvvisamente, e fiocchi di linee universo di radiazione si dipartono dalle loro estremità rotte. E se noi ci muoviamo in avanti con il tempo lungo l'arazzo, i suoi vari fili si intrecciano nello spazio e così cambiano la loro posizione relativa. Il telaio è disposto così che essi sono costretti ad uniformarsi a leggi determinate che noi chiamiamo « leggi di natura ».

La linea universo della Terra è un cavo più piccolo, fatto di vari cordoncini: questi rappresentano le montagne, gli alberi, gli aereoplani, i corpi umani e così via, il cui insieme costituisce la Terra. Un filo che rappresenti un corpo umano non differisce per nessuna caratteristica essenziale dagli altri fili. Esso si intreccia relativamente agli altri fili, meno liberamente che un aereoplano, ma più liberamente che un albero. Come gli alberi, esso comincia da una piccola

cosa e cresce per assorbimento continuo d'altri atomi dall'esterno, che sono il suo nutrimento. Gli atomi di cui esso è formato non differiscono essenzialmente dagli altri atomi; atomi esattamente simili entrano nella composizione di montagne, aereoplani e alberi.

Tuttavia i fili che rappresentano gli atomi d'un corpo umano hanno una capacità speciale di trasmettere impressioni per mezzo dei nostri sensi alle nostre menti. Questi atomi colpiscono la nostra coscienza direttamente, mentre tutti gli altri atomi dell'universo agiscono su di essa indirettamente, attraverso l'intermediario di questi atomi. Noi possiamo il più semplicemente possibile interpretare la nostra coscienza come qualcosa che risieda interamente al di fuori della rappresentazione, e prenda contatto con essa solamente lungo le linee universo dei nostri corpi.

La vostra coscienza percepisce il quadro attraverso le vostre linee universo, la mia lungo la mia linea universo, e così via.

L'effetto prodotto da questo contatto corrisponde da prima ad un passaggio di tempo; noi ci sentiamo come trascinati lungo una linea universo, quasi per aver esperienza dei vari punti su di lei, che rappresentano i nostri stati, in differenti istanti di tempo.

Può essere che il tempo, dal suo cominciamento alla fine dell'eternità, si distenda di fronte a noi nel quadro, ma noi siamo in contatto solo con un istante, proprio come la ruota della bicicletta che è in con-

tatto solamente con un punto della strada. Allora, come Weil afferma, gli eventi non si succedono; noi semplicemente andiamo attraverso ad essi. O, come ha detto Platone, ventitrè secoli fa, nel *Timeo*:

« Il passato e il futuro sono specie create di tempo che noi inconsciamente ma erroneamente trasferiamo in essenza eterna. Noi diciamo « era » « è » « sarà » ma la verità è che soltanto « è » può essere propriamente usato ».

In questo caso, le nostre coscienze somigliano ad una mosca impigliata in una granata che si fa passare sulla superficie d'un quadro; l'intera pittura è qui, ma la mosca può soltanto avere esperienza, per un istante, di quello con cui essa è in immediato contatto; sebbene si possa ricordare un pezzo della pittura dietro di lei, e si possa sempre illudere immaginando di aiutare essa a dipingere quelle parti del quadro che le stanno davanti.

O ancora, può essere che la nostra coscienza sia da paragonare alla sensazione che può essere nel dito del pittore mentre va avanti col pennello sulla pittura non ancora finita. Se è così, l'impressione d'avere un'influenza sulle parti del quadro ancora da venire diventa qualche cosa di più d'una pura illusione. Al presente la scienza ci dice ben poco del modo come la nostra coscienza prende conoscenza della pittura; essa si riferisce principalmente alla natura della pittura.

Noi abbiamo visto che l'etere, che si supponeva un tempo riempire l'universo, è stato ridotto a un'astrazione, o un'intelaiatura di spazio vuoto, consistente in nient'altro che nelle dimensioni spaziali della bolla di sapone. Le onde che un tempo si supponeva traversassero questo etere sono ridotte a poco più di una astrazione: esse sono le pieghe d'una sezione trasversale della bolla con il tempo.

Questa qualità d'astrattezza, di quelle che furono un tempo riguardate come « onde eteree » materiali, ricorre in forma più acuta, se ci rivolgiamo al sistema di onde che competono ad un elettrone. L'« etere » — termine che noi troviamo conveniente per spiegare l'ordinaria radiazione, per esempio la luce solare — ha tre dimensioni nello spazio, oltre la sua dimensione nel tempo. Per quel che riguarda l'etere in cui noi descriviamo le onde d'un singolo elettrone isolato nello spazio, esso può, o no essere lo stesso etere di prima, ma gli somiglia perchè ha tre dimensioni spaziali e una temporale. Ma un singolo elettrone isolato nello spazio fornisce un universo senza eventi, perchè il più semplice avvenimento concepibile si ha quando due elettroni urtano insieme. E per descrivere, nei termini più semplici, quel che succede se due elettroni si urtano, la meccanica ondulatoria richiede un sistema di onde in un etere a sette dimensioni; sei spaziali, tre per ciascuno d'ogni elettrone, e una temporale.

Per descrivere l'urto di tre elettroni, noi abbiamo bisogno d'un etere a dieci dimensioni, nove di spazio e una di tempo. Se non vi fosse l'ultima dimensione del tempo che lega insieme tutte le altre, i vari elettroni esisterebbero tutti in spazi tridimensionali non comunicanti. Così il tempo figura come la calcina che tiene insieme i mattoni, come, in un mondo spirituale, le « monadi senza finestre » di Leibnitz sono legate insieme dalla mente universale. O forse per essere più vicini al caso attuale, noi possiamo pensare gli elettroni come oggetti del pensiero, e il tempo come il processo del pensare.

Molti fisici vorranno ammettere, io penso, che lo spazio a sette dimensioni in cui la meccanica delle onde raffigura l'urto di due elettroni è puramente una finzione, nel qual caso anche le onde che accompagnano un elettrone debbono essere riguardate come una finzione. Così il prof. Schrödinger, scrivendo sullo spazio a sette dimensioni, dice che sebbene « abbia un significato fisico determinato, non può esser giusto dire « esiste »; poichè un movimento di onde in questo spazio non può dirsi « esistere » nel senso ordinario della parola. Esso è semplicemente un'adeguata descrizione matematica di quel che accade. E' possibile che anche nel caso d'un solo elettrone il movimento d'onde non debba dirsi « esistere » in senso *troppo* letterale, sebbene lo spazio di configu-

razione per questo caso speciale coincide con lo spazio ordinario ».

Tuttavia è difficile vedere come noi possiamo attribuire un minor grado di realtà ad una serie di onde piuttosto che ad un altro: è assurdo dire che le onde di un elettrone sono reali, mentre quelle di due sono fittizie. E le onde d'un singolo elettrone sono abbastanza reali per mostrarsi sulle lastre fotografiche e produrre frange d'interferenza come nella tavola II. Noi possiamo solamente ottenere una coerenza completa, supponendo che tutte le specie di onde, quelle di due, quelle d'un elettrone e le onde sulle lastre fotografiche del prof. Thomson, hanno lo stesso grado di realtà o di non realtà.

Alcuni fisici cercano di ovviare a questa situazione riguardando l'onde d'elettroni come onde di probabilità. Se parliamo di onde di marea, noi intendiamo un'onda materiale di acqua che bagna ogni cosa nel suo passaggio. Se parliamo d'onda di calore, noi intendiamo qualchecosa che, sebbene non materiale, riscalda ogni cosa nel suo passaggio. Ma se i giornali della sera parlano d'un'onda di suicidio, essi non voglion dire che ogni persona che sia sul cammino dell'onda, dovrà suicidarsi; questo significa soltanto che la probabilità che questo accada aumenta.

Se un'ondata di suicidio passerà su Londra, il percento delle morti per suicidio crescerà; se passa so-

pra l'isola di Robinson Crusoè, la probabilità che l'unico abitante vorrà togliersi la vita aumenterà. Le onde che rappresentano un elettrone nella meccanica ondulatoria è stato suggerito siano onde di probabilità, la cui intensità in ogni punto dia una misura della probabilità che un elettrone sia in quel punto. Così in ogni punto della lastra del professor Thomson, (tav. II fig. 2 e 3), l'intensità dell'onda misurerà la probabilità che un singolo elettrone diffratto colpisca la lastra in quel punto.

Se un'intera folla di elettroni è diffratta, il numero totale di particelle che colpiscono un punto sulla lastra è naturalmente proporzionale alla probabilità che ciascuno di essi colpisca in quel punto, cosicchè l'annerimento della lastra dà una misura della probabilità per un elettrone.

Questo punto di vista ha il gran merito di permettere che si lasci all'elettrone la sua individualità. Se le onde elettroniche fossero reali onde materiali, ciascun sistema di onde probabilmente si dovrebbe disperdere durante l'esperimento, cosicchè nessuna particella elettrizzata sopravviverebbe come tale nel raggio diffratto. Infatti, nell'urto contro la materia, si dovrebbero rompere gli elettroni, che non potrebbero esser riguardati con struttura permanente. Nel caso attuale, naturalmente, è più la pioggia di elettroni, che il singolo elettrone, che è diffratta; gli elet-

troni individualmente si muovono come particelle e ritengono perciò la loro identità.

Tutto questo è d'accordo col « principio d'incertezza » di Heisenberg, secondo il quale è impossibile dire: « un elettrone è qui, a questo punto preciso, e si muove precisamente a tante miglia all'ora »; noi possiamo soltanto parlare in termini di probabilità.

Ciò è anche in armonia con il principio generale formulato da Dirac, che è stato già spiegato (pagina 50). Tuttavia questi due principi soltanto, non sono sufficienti a specificare la piena natura delle onde di elettroni.

Heisenberg e Bohr hanno suggerito che queste onde debbano essere considerate puramente come un tipo di rappresentazione simbolica della nostra conoscenza quanto al probabile stato e alla probabile posizione dell'elettrone.

Se è così, esse cambiano come le nostre conoscenze cambiano, e in tal modo divengono largamente soggettive. Così noi non abbiamo bisogno di pensare con difficoltà a onde nello spazio e nel tempo; esse sono pure visualizzazioni di una formola matematica di natura ondulatoria, ma totalmente astratta.

Una possibilità più drastica ancóra, sorgente da un'ipotesi fatta da Bohr, è che i più minuti fenomeni naturali non devono ammettere alcuna rappresentazione spazio-temporale. Con questo modo di vedere

il continuo quadridimensionale della teoria della relatività è adeguato solamente per alcuni fenomeni naturali, che includono fenomeni a grande scala e la radiazione nello spazio libero; altri fenomeni possono essere rappresentati solamente uscendo da questo continuo.

Noi abbiamo, per esempio, già tentato di dipingere la coscienza come qualcosa al di fuori del continuo, e abbiamo visto che l'urto di due elettroni può essere semplicemente rappresentato in sette dimensioni. E' concepibile qualcosa che, avvenendo interamente al di fuori del continuo, determina quel che noi definiamo « corso degli eventi » dentro il continuo, e che l'apparente indeterminazione della natura provenga semplicemente dal nostro tentativo di forzare il divenire, accadente in molte dimensioni, in un più piccolo numero di dimensioni. Immaginiamo, per esempio, una razza di vermi ciechi, le cui percezioni siano limitate alla superficie bidimensionale della Terra. Di quando in quando alcuni punti della Terra diventano sporadicamente bagnati. Noi, che con i nostri sensi abbiamo percezione delle tre dimensioni dello spazio, chiamiamo il fenomeno pioggia, e sappiamo che eventi nella terza dimensione dello spazio, assolutamente ed unicamente, determinano quali posti diventino bagnati e quali debbano rimanere asciutti. Ma se i vermi, che non hanno mai coscienza della terza dimensione dello spazio, cercassero di

far rientrare tutta la natura nel loro quadro a due dimensioni, essi non riescirebbero a scoprire un determinismo nella distribuzione di punti asciutti e punti bagnati; i vermi-scienziati sarebbero soltanto capaci di discutere l'esser asciutto o bagnato in termini di probabilità, che essi sarebbero tentati di trattare come l'ultima verità.

Sebbene il tempo non sia ancora maturo per una decisione, questa sembra a me, personalmente, la più promettente interpretazione della situazione. Come l'ombra su di una parete forma la proiezione a due dimensioni di una realtà a tre dimensioni, così i fenomeni del continuo spazio-temporale sono la proiezione a quattro dimensioni di una realtà che occupa più di quattro dimensioni, così che gli eventi nel tempo e nello spazio diventano

> « niente altro che una mobile fila
> di magiche forme d'ombra che vanno e vengono ».

Può darsi che si faccia l'obiezione che noi abbiamo prestata troppo attenzione alla meccanica delle onde, che dopo tutto è solamente una rappresentazione matematica, quando probabilmente innumerevoli altre rappresentazioni possono servire egualmente, e condurre a conclusioni interamente differenti.

Ed è vero che lo schema ondulatorio non può pretendere d'essere l'unico. Altri sistemi sono in cam-

po, specialmente quelli di Heisenberg e Dirac. Benchè essenzialmente questi possano solo dire la stessa cosa in altre parole e spesso oscure. Nessun altro sistema sin adesso inventato spiega le cose così semplicemente come la meccanica delle onde di de Broglie e Schrödinger. Fotografie come quelle della tavola II fanno testimonianza che onde di una lunghezza definita sono qualcosa di fondamentale nello schema della natura; queste onde formano il concetto fondamentale della meccanica delle onde; ma in altri sistemi compaiono solamente come sottoprodotti, poco naturali. Quindi, appunto per la sua propria semplicità, la meccanica ondulatoria ha dimostrato una capacità di penetrare molto più addentro nei segreti naturali che altri sistemi, cosicchè gli altri sistemi sono già caduti un po' in sottordine.

Per variare la nostra metafora, essi sono serviti a uno scopo utile, come impalcatura, ma non sembra che ci sia la benchè minima tendenza ad attribuir loro qualcosa di più.

Se dunque noi vogliamo limitarci ad un'interpretazione, ci sembra d'essere giustificati, scegliendo quella fornitaci dalla meccanica ondulatoria, sebbene, nel fatto, sia il sistema di Heisenberg come quello di Dirac ci condurrebbero alle stesse conclusioni. Il fatto essenziale è che *tutte* le rappresentazioni che la scienza ora fa della natura, e che sole sembrano capaci

d'accordarsi con i fatti d'osservazione sono rappresentazioni *matematiche.*

Moltissimi scienziati saranno d'accordo che esse non sono niente di più che rappresentazioni, finzioni, se volete, se con finzione intendete che la scienza non è ancora in contatto con l'ultima realtà. Alcuni sosterranno che guardando la cosa da un punto di vista filosofico molto largo, l'avvenimento più saliente della fisica del secolo ventesimo non è la teoria della relatività, che ha unito insieme lo spazio e il tempo, o la teoria dei quanta con la sua apparente negazione del principio di causalità, o la disgregazione dell'atomo con la conseguente scoperta che le cose non sono quello che sembrano; è, invece, il riconoscimento generale che noi non siamo ancora in contatto con l'ultima realtà. Per parlare secondo la ben nota similitudine di Platone, noi siamo imprigionati in una caverna, con il dorso voltato alla luce e possiamo solamente osservare le ombre sulla parete.

Al presente il solo compito immediato che stia di fronte alla scienza è di studiare queste ombre, per classificarle e spiegarle nel modo più semplice possibile.

E quel che noi troviamo, nel torrente in piena della sorprendente nuova conoscenza, è che il modo che la spiega più chiaramente, più a pieno e più naturalmente che ogni altro, è la spiegazione in termini matematici. E' vero, in un senso un po' diffe-

rente da quello inteso da Galileo, che « il gran libro della Natura è scritto in linguaggio matematico ». Così è vero che nessuno, eccettuato un matematico, può sperare di capire queste branche delle scienze che cercano di svelare la natura fondamentale dell'universo: la teoria della relatività, la teoria dei quanta e la meccanica ondulatoria.

Le ombre che la realtà getta sulla parete della nostra caverna possono *a priori* essere di molte specie. Esse possono essere perfettamente prive di significato per noi, come è privo di significato per un cane, entrato nella sala per sbaglio, un film cinematografico che mostri la struttura d'un tessuto microscopico.

Infatti la nostra terra è così infinitesima al paragone con l'intero universo; noi, i soli esseri pensanti, per quel che sappiamo, in tutto lo spazio, costituiamo secondo tutte le apparenze una cosa così accidentale, che è *a priori* troppo probabile che, se l'universo ha un significato, esso trascenda la nostra esperienza terrena, e, così, sia totalmente inintelligibile per noi. In questo caso, noi non avremmo nessun punto d'appoggio per iniziare la nostra ricerca intorno al vero significato dell'universo.

Sebbene questo sia il caso più probabile, non è impossibile che alcune delle ombre, che cadono sulla parete della nostra caverna, possano suggerire oggetti ed operazioni, con le quali noi, abitanti delle caverne, siamo già familiari. L'ombra d'un corpo

che cade si comporta come il corpo che cade, e così noi potremmo pensare a corpi che noi stessi avessimo lasciato cadere; noi saremmo tentati di interpretare tali ombre in termini meccanici.

Questo spiega la fisica meccanica dell'ultimo secolo; le ombre hanno suggerito ai nostri predecessori di pensare al comportamento di gelatine, di vortici, di ruote dentate, così che essi, scambiando le ombre con la sostanza, si sono sentiti davanti ad un universo di gelatina e di congegni meccanici. Noi adesso sappiamo che l'interpretazione era molto inadeguata: essa ha dimostrato di non poter spiegare i fenomeni più semplici, la propagazione d'un raggio luminoso, la composizione della radiazione, la caduta d'una mela, o la rotazione degli elettroni nell'atomo.

Il giuoco degli scacchi delle ombre, giocato dagli attori fuori, al sole, ci fa pensare al giuoco degli scacchi, che noi abbiamo giocato nella nostra caverna. Ora come allora noi possiamo riconoscere il movimento del cavallo, o osservare la torre che si muove contemporaneamente con re e regine, o discernere altri movimenti caratteristici così simili a quelli che siamo stati soliti fare in quel giuoco, che essi non possono essere attribuiti al caso. Noi non penseremo più della realtà esterna come d'una macchina; i dettagli di una sua operazione possono essere meccanici, ma l'essenza è una realtà del pensiero: noi riconosceremo i giocatori di scacchi fuori, al sole, come es-

seri governati da menti simili alle nostre; noi troveremo la contropartita dei nostri pensieri nella realtà che era per sempre inaccessibile alla nostra osservazione.

E se gli scienziati studiano il mondo dei fenomeni, le ombre che la Natura proietta sulle pareti della nostra caverna, essi non trovano queste ombre totalmente inintelligibili, e neppure queste sembreranno a loro oggetti sconosciuti, o poco familiari. Piuttosto, mi sembra, noi potremmo ammettere che i giuocatori di scacchi fuori, alla luce del sole, sono molto al corrente con le regole del giuoco, *mentre noi le abbiamo formulate nella nostra caverna*. Per uscire di metafora, la Natura sembra molto versata nelle matematiche pure, mentre i nostri matematici le hanno formulate nei loro studi, traendole fuori dalla loro propria coscienza e senza ricorrere alla loro esperienza del mondo esterno. Con « matematica pura » s'intende quella parte della matematica che è creazione del pensiero puro, della sola ragione operante nella sua propria sfera, in opposizione alla « matematica applicata » che ragiona sul mondo esterno, dopo aver da prima ammesso delle proprietà, riconosciute del mondo esterno, come materiale grezzo. Descartes, cercando un esempio del prodotto della mente pura, senza contaminazioni con l'osservazione (razionalismo), scelse il fatto che la somma dei tre angoli d'un triangolo era necessariamente eguale a due angoli

retti. E fu una scelta molto infelice. Altre scelte, meno soggette ad obiezioni, potrebbero farsi come, per esempio, la legge di probabilità, le regole d'operazioni con numeri « immaginari » — cioè numeri contenenti la radice quadrata della unità negativa — o la geometria a più dimensioni. Tutte queste branche della matematica furono originalmente create dal matematico in termini di astratto pensiero, praticamente non influenzato dal mondo esterno, e niente prendendo dall'esperienza; essi formano « un mondo indipendente creato dalla intelligenza pura ».

E adesso vien in luce che il giuoco delle ombre che noi descriviamo come la caduta d'una mela, il flusso e il riflusso delle maree, il movimento di elettroni nell'atomo, sono prodotti da attori che sembrano essere molto al corrente con questi concetti puramente matematici — con le nostre regole del giuoco degli scacchi, che noi abbiamo formulato prima di scoprire che le ombre sulla parete stanno anch'esse giocando a scacchi.

Se noi tentiamo di scoprire la natura della realtà al di là delle ombre, noi ci troviamo di fronte al fatto che ogni discussione sull'ultima natura delle cose deve necessariamente rimanere sterile, perchè noi non abbiamo cosa estranea con cui paragonarla. Per questa ragione, prendendo in prestito la frase di Locke, « la reale essenza della sostanza » è per sempre inconoscibile.

Noi possiamo solamente progredire discutendo le leggi che governano i cambiamenti della sostanza, e producono così i fenomeni del mondo esterno. Noi possiamo paragonare questi con le astratte creazioni delle nostre menti.

Per esempio, un ingegnere sordo studiando l'azione d'una pianola, può da prima tentare d'interpetrarla come una macchina, ma sarà deluso dal continuo ripetersi degli intervalli 1, 5, 8, 13 nel movimento dei dischi. Un musicista sordo, sebbene non possa sentire nulla, riconoscerà immediatamente questa successione di numeri come gli intervalli d'un accordo perfetto, mentre altre successioni che compaiano con minore frequenza gli suggeriranno altri accordi musicali.

Su questa via egli troverà una parentela tra i suoi propri pensieri e i pensieri che sono stati di guida nella costruzione della pianola; dirà che esso è venuta al mondo attraverso il pensiero d'un musicista. Nella stessa maniera, uno studio scientifico del divenire dell'universo ha suggerito una conclusione che può essere riassunta, sebbene molto ingenuamente e inadeguatamente, perchè noi non abbiamo un linguaggio a nostra disposizione, che non sia prodotto dei nostri concetti e delle nostre esperienze terrene, affermando che l'universo sembra essere stato preordinato dalla mente d'un matematico puro.

Quest'affermazione può difficilmente sperare di essere accettata senza discussioni, per due motivi. In primo luogo, può essere obiettato che noi semplicemente adattiamo la Natura alle nostre idee. Il musicista, si può dire, è così assorbito nella musica che egli si ingegnerà d'interpetrare ogni meccanismo come uno strumento musicale; l'abito di pensare ogni intervallo come un intervallo musicale può essere così inveterato in lui, che se egli cade per le scale e urta negli scalini numerati 1, 5, 8 e 13, troverà della musica nella sua caduta.

Alla stessa guisa, un pittore cubista non vede altro che cubi nell'indescrivibile ricchezza della natura: e l'irrealtà della sua pittura dimostra come egli sia lontano dal comprendere la natura, i suoi occhiali da cubista sono semplicemente dei paraocchi che gli impediscono di vedere più in là di una piccola frazione del grande mondo intorno a lui. Così, può essere insinuato, il matematico vede soltanto la natura attraverso i suoi paraocchi da matematico, come egli se la è foggiata per lui stesso.

Noi possiamo ricordare che Kant, discutendo i vari modi di percezione per cui la mente umana prende conoscenza della natura, conclude che essa è specialmente incline a vedere la natura attraverso gli occhiali del matematico. Appunto come un uomo che portasse occhiali azzurri vedrebbe solamente un mondo azzurro, così Kant pensa che, per le nostre dispo-

sizioni mentali, noi siamo disposti a vedere solo un mondo matematico. Il nostro argomentare deve semplicemente fornire un nuovo esempio di questo vecchio inganno, se tale esso è?

Un momento di riflessione mostrerà che difficilmente questo può costituire tutta la verità. La nuova interpretazione matematica della natura non può essere tutta nei nostri occhiali — nella nostra maniera soggettiva di riguardare il mondo esterno — perchè se fosse così, noi l'avremmo dovuto aver visto già da lungo tempo. La mente umana era la stessa, per modo d'agire e di essere, un secolo fa; il recente grande cambiamento nelle nostre vedute scientifiche è risultato da un vasto progresso nella conoscenza scientifica e non da un cambiamento nella mente umana; noi abbiamo trovato qualcosa di nuovo e prima d'ora sconosciuto nell'universo obiettivo, al di fuori di noi stessi. I nostri remoti antenati cercarono di interpretare la natura per mezzo di concetti antropomorfici, di propria loro creazione, e fallirono. Gli sforzi dei nostri antenati più prossimi di interpetrare la natura meccanicamente sono stati, alla prova, inadeguati. La Natura si è rifiutata di accomodarsi ad uno di questi stampi, fatti dall'uomo. D'altra parte, i nostri sforzi d'interpetrare la natura con concetti puramente matematici, sono stati coronati da successo. Sembrerebbe fuori discussione che la Natura è più strettamente legata ai concetti della

matematica pura che a quelli della biologia o della ingegneria, e anche se l'interpetrazione matematica è solamente un terzo genere di stampo creato dall'uomo, essa almeno riproduce la natura obiettiva incomparabilmente meglio che le altre due.

Un cento anni fa, quando gli scienziati tentavano di dare un'interpretazione meccanica del mondo, nessuna persona avveduta è venuta avanti a dire loro che il punto di vista meccanicista era destinato a fallire alla fine: che l'universo fenomenico non aveva senso finchè non si proiettasse sullo schermo della matematica pura: se avessero portato avanti un argomento convincente per tale affermazione, la scienza avrebbe evitate molte fatiche infruttuose. Se il filosofo adesso dice: — « Quel che avete trovato non è niente di nuovo: io avrei potuto dirvi che doveva esser così, in tutti i tempi », lo scienziato potrebbe con ragione rispondere con la domanda: « Come avreste potuto dircelo, se noi appunto dovevamo trovare il fatto che valesse realmente a convincerci? ».

Il punto su cui discutiamo è che l'universo ci appare di natura matematica in un senso differente da quello che Kant considerava, o può aver considerato: in breve, la matematica entra nell'universo dall'alto anzichè dal basso.

In un certo senso può affermarsi che ogni cosa è di natura matematica. La più semplice forma di ma-

tematica è l'aritmetica, la scienza dei numeri e delle quantità, e queste penetrano la vita intera. Per esempio, il commercio che consiste in larga parte dell'operazione matematica di ragioneria, inventario ecc., è in un certo senso un'operazione matematica; ma non in questo senso l'universo adesso ci appare di natura matematica.

Ancora, ogni ingegnere ha qualcosa del matematico; se egli deve calcolare e predire il comportamento meccanico dei corpi con accuratezza, egli deve usare la sua conoscenza matematica e guardare al suo problema attraverso gli occhiali del matematico. Ma, da capo, non in questo modo la scienza ha cominciato a vedere il mondo come matematico. La matematica dell'ingegnere differisce da quella del ragioniere semplicemente perchè è più complessa. Rimane sempre un mezzo per calcolare; invece di valutare capitali e interessi, essa valuta tensioni e pressioni o correnti elettriche.

D'altra parte, Plutarco ricorda che Platone usava dire che Dio geometrizza sempre — Πλατων ἔλεγε τόν Θεόν ἀεί γεωμετρεῖν — ed egli immagina un banchetto, in cui i convitati discutono quel che Platone voleva dire con questo. E' chiaro che egli intende qualcosa di differente da quel che intendiamo quando affermiamo che i banchieri sono dei matematici. Tra gli esempi dati da Plutarco vi sono: che Platone ha detto che la geometria pone dei limiti a

quel che altrimenti sarebbe illimitato e che egli ha affermato che Dio ha costruito l'universo sulla base dei cinque solidi regolari; egli credeva che le particelle di terra, aria, fuoco e acqua avessero la figura di cubi, ottaedri, tetraedri e icosaedri, mentre l'universo stesso avesse la figura del dodecaedro. A questo si può forse aggiungere la credenza di Platone che le distanze del sole, della luna e dei pianeti fossero « nella proporzione degli intervalli doppi », con che egli significava la sequenza di numeri interi, che son delle potenze di 2 e di 3, cioè 1, 2, 3, 4, 9, 27.

Se alcuna di queste considerazioni conserva una parte di validità anche oggi, è la prima, che l'universo della teoria della relatività è finito appunto perchè è geometrico. Ma l'idea che i quattro elementi e l'universo fossero in qualche modo in rapporto con i cinque solidi regolari era puramente una fantasia, e le vere distanze del sole, luna e pianeti non hanno relazione alcuna con i numeri di Platone.

Duemila anni dopo Platone, Keplero spese molto tempo e fatiche nel tentare di trovare una relazione tra le dimensioni delle orbite planetarie e gli intervalli musicali o le costruzioni geometriche; forse anche lui sperava di scoprire che le orbite fossero state disposte da un musicista o da un geometra. Per un momento egli credette aver trovato che i rapporti delle orbite fossero in relazione con i cinque solidi regolari. Se questo presunto fatto era stato già intui-

to da Platone, quale prova poteva egli vedervi della volontà geometrizzante di Dio! Keplero stesso ha scritto: « Il piacere intenso che io ho provato da questa scoperta non può esser detto in parole ». Non occorre dire che questa scoperta era falsa. La nostra mente moderna la rigetta immediatamente come ridicola; noi troviamo impossibile pensare del sistema solare come d'un prodotto finito, lo stesso giorno che uscì dalle mani del suo fattore; noi lo possiamo pensare solamente come qualcosa in continua evoluzione e cambiamento, realizzante dal suo passato il proprio futuro. Tuttavia se noi per un momento potessimo dare, con la fantasia, un'impronta medioevale ai nostri pensieri, e creare a noi stessi l'illusione che la congettura di Keplero fosse vera, sarebbe chiaro che egli allora avrebbe il diritto di trarre delle conclusioni da questo fatto. La matematica che egli ha trovato nell'universo avrebbe dovuta essere qualche cosa di più di quella che egli vi aveva posto, ed egli avrebbe potuto legittimamente arguire che nell'universo c'era inerente una ragione matematica, oltre quella che egli stesso aveva usata per intenderla; egli avrebbe potuto arguire, in linguaggio antropomorfico, che la sua scoperta suggerisse essere stato l'universo ordinato da un geometra. Ed egli di fronte alla critica che la matematica da lui scoperta risiedesse nei suoi « occhiali matematici », non si sarebbe turbato di più del pescatore che prende un pesce all'a-

mo usando per esca un pesce più piccolo, se gli viene osservato: « Sì, ma vi faccio notare che voi stesso ci mettete il pesce ».

Ci sia permesso riferire un esempio più moderno e meno fantastico della stessa cosa.

Cinquant'anni fa, quando ci fu una grande discussione sul problema di comunicare con Marte, si desiderò di far noto ai supposti Marziani che esseri pensanti esistevano sulla Terra, ma la difficoltà fu di trovare un linguaggio che fosse comprensibile da entrambe le parti; fu proposto di accendere una catena di falò nel Sahara, per formare un disegno che illustrasse il famoso teorema di Pitagora, che la somma dei quadrati costruiti su i due lati minori di un triangolo rettangolo è eguale al quadrato del lato maggiore. La maggioranza degli abitanti di Marte non ne avrebbe scoperto il significato, ma si ritenne che i matematici su Marte, se ne esistevano, l'avrebbero sicuramente riconosciuto come l'opera d'un matematico sulla terra. Così facendo, essi andrebbero incontro alla critica di vedere la matematica in ogni cosa. E così è, *mutatis mutandis*, con i segnali del mondo della caverna in cui siamo imprigionati.

Noi non possiamo interpretare queste come ombre proiettate da attori viventi o come ombre prodotte da una macchina, ma il matematico puro riconosce che esse rappresentano quel genere di idee con cui egli è familiare nei suoi studi.

Noi, ben inteso, non possiamo tirare una conclusione da questo per decidere se i concetti di matematica pura che troviamo essere inerenti alla struttura dell'universo ne sono semplicemente parti, o vi sono stati introdotti i concetti della matematica applicata che noi usiamo per scoprire il divenire del mondo. Non proverà nulla il fatto che la natura si accorda ai concetti della matematica applicata; questi concetti sono specialmente e deliberatamente inventati dall'uomo per adattarsi all'opera della natura. E può essere obiettato che anche la nostra matematica pura nel caso reale non rappresenterebbe una creazione delle nostre menti, ma piuttosto uno sforzo, basato su memorie perdute o subcoscienti, di comprendere l'opera della natura.

Se è così, non sorprende che la natura operi secondo le leggi della matematica pura. Non si può negare, senza dubbio, che alcuni dei concetti con cui il puro matematico opera sono stati presi direttamente dalla esperienza della natura. Un esempio ovvio è il concetto di quantità, ma questo è così fondamentale che è difficile immaginare uno schema naturale da cui esso sia completamente escluso. Altri concetti prendono almeno qualcosa dall'esperienza; per esempio la geometria a più dimensioni, che è chiaro aver tratto origine dalla nostra esperienza dello spazio a tre dimensioni. Se, comunque, i più complicati concetti della matematica pura sono stati presi dall'os-

servazione della natura, essi devono essere stati sepolti molto profondamente nella nostra subcoscienza. Questa possibilità molto controversa è tale che non può essere completamente rigettata, ma in ogni caso difficilmente si può discutere se la natura o il nostro cosciente spirito matematico operino con le stesse leggi. Essa non modella la sua condotta, per dir così, su quella che ci è imposta dai nostri capricci e dalle nostre passioni, o su quella dei nostri muscoli e delle nostre articolazioni, ma su quella delle nostre menti pensanti. Questo rimane vero sia che le nostre menti imprimano le loro leggi sulla natura, sia che essa imprima le sue leggi su di noi, e fornisce una giustificazione sufficiente alla nostra opinione che l'universo sia stato fatto su di un piano matematico.

Ricadendo nel linguaggio crudamente antropomorfico che noi abbiamo già usato, possiamo dire che abbiamo già considerato con poco favore la possibilità che l'universo sia stato concepito da un biologo o da un ingegnere; per l'intrinseca evidenza del suo operare, il Grande architetto dell'Universo adesso comincia ad apparirci un matematico puro.

Personalmente io sento che questo pensiero può essere condotto ancora più oltre, sebbene sia difficile esprimerlo in parole esatte, ancora per la ragione che il nostro vocabolario è circoscritto alla nostra esperienza mondana. Il matematico puro di questa terra non deve limitarsi a trattare con la sostanza materiale, ma

con il pensiero puro. Le sue creazioni non sono solamente create dal pensiero ma constano di pensiero, proprio come le creazioni d'un meccanico sono macchine. E i concetti che adesso si dimostrano fondamentali per la comprensione della natura — uno spazio che è finito; uno spazio che è vuoto, così che un punto differisce da un altro solamente per le proprietà dello spazio stesso; spazi a quattro, a sette o a più dimensioni; uno spazio che non cessa mai di dilatarsi; una serie di eventi che segue la legge di probabilità in luogo della legge di causalità, o, altra possibilità, una serie di eventi che può pienamente e logicamente essere descritta solo uscendo fuori del tempo e dello spazio, — tutti questi concetti mi sembrano oggetti di pensiero puro, incapaci di realizzarsi in un senso che possa propriamente definirsi materiale.

Per esempio, qualcuno che ha scritto o ha parlato in pubblico sullo spazio che è finito, è abituato all'obiezione che il concetto di uno spazio finito si contraddice da sè e non ha senso. Se lo spazio è finito, i nostri critici dicono, deve esser possibile andare al di là di questo spazio finito, e che cosa possiamo trovare se non altro spazio, e così *ad infinitum?* — il che prova che lo spazio non può essere finito.

E anche, essi dicono, se lo spazio si dilata, dove può dilatarsi, se non vi è altro spazio? — il che di nuovo prova che se si dilata, esso può esser solo parte dello spazio, così che la totalità dello spazio non

può dilatarsi. I critici del secolo ventesimo che fanno questi commenti sono sempre nella posizione mentale degli scienziati del secolo decimonono; prendono per accertato che l'universo deve ammettere una rappresentazione materiale. Se noi accettiamo le loro premesse, noi dobbiamo, io credo, accettare anche le loro conclusioni — che quel che diciamo è un non senso, per la loro irrefutabile logica. Ma la scienza moderna non può ammettere le loro conclusioni; essa insiste sulla finitezza dello spazio a tutti i costi. Questo naturalmente significa che noi dobbiamo negare le premesse che i nostri critici, senza averne coscienza, facevano. L'universo non può ammettere una rappresentazione materiale, e la ragione, io penso, è che esso comincia a divenire un concetto puro.

E' lo stesso, io penso, con altri concetti più tecnici, prendendo a tipo il « principio di esclusione » che sembra implicare una specie di « azione a distanza » nello spazio e nel tempo — come se ogni parte dell'universo conoscesse quel che fanno le altre parti distanti e agisse di conseguenza. Secondo me, le leggi a cui la natura obbedisce, fanno pensare meno a quelle a cui obbedisce una macchina nel suo movimento che a quelle a cui un musicista obbedisce, scrivendo una fuga, o un poeta, scrivendo un sonetto.

I movimenti degli atomi e degli elettroni somigliano meno a quello delle parti d'una locomotiva, che a quelli dei ballerini in un *cotillon*. E se la « vera es-

senza della sostanza » è per sempre inconoscibile, non importa se il *cotillon* è danzato in un ballo nella vita reale, o su di uno schermo cinematografico, o in una novella di Boccaccio. Se tutto questo è così, allora l'universo può essere meglio rappresentato, sebbene molto imperfettamente ed inadeguatamente, come risultante di pensiero puro, il pensiero di quello che noi possiamo descrivere, mancando d'una parola più ampia, come un matematico pensatore.

E così siamo condotti nel cuore del problema della relazione tra spirito e materia. Perturbazioni sugli atomi del lontano Sole lo costringono ad emettere luce e calore. Dopo aver « viaggiato attraverso l'etere » per otto minuti, alcune di queste radiazioni possono cadere sui nostri occhi, causando nella retina un disturbo, che attraverso il nervo ottico, arriva al cervello. Qui è percepito, come una sensazione, dallo spirito; ciò mette in azione i nostri pensieri e ne risultano, permettetemi l'espressione, pensieri poetici sul tramonto del sole. Qui vi è una catena continua A, B, C, D... X, Y, Z che connette A il pensiero poetico — attraverso B lo spirito pensante, C il cervello, D il nervo ottico, e così via — con Z la perturbazione atomica nel sole. Il pensiero A dipende dalla perturbazione lontana Z, appunto come il suono del campanello elettrico dal premere un lontano bottone. Noi possiamo intendere perchè, premendo un bottone materiale, si produca il suono del campanello,

perchè in questo caso vi è una connessione materiale. Ma è molto meno facile comprendere come una perturbazione di atomi materiali possa causare il sorgere d'un pensiero poetico, perchè questi due fatti sono di natura assolutamente differente.

Per questo motivo, Descartes insiste che non è possibile stabilire una connessione tra spirito e materia. Egli crede che essi siano due distinti generi di entità: l'essenza della materia è estensione nello spazio, e quella dello spirito è pensiero.

E questo lo conduceva a ritenere che vi siano due mondi distinti, uno dello spirito, e l'altro della materia, seguenti, per così dire, strade indipendenti su binari paralleli, senza mai incontrarsi. Berkeley e i filosofi idealisti son d'accordo con Descartes che se lo spirito e la materia fossero di nature fondamentalmente diverse, non potrebbero mai agire l'uno sull'altra. Quindi, essi deducono, la materia deve essere della stessa natura dello spirito, così che, nella terminologia di Descartes, l'essenza della materia deve essere il pensiero piuttosto che l'estensione. In particolare il loro argomento era che le cause devono essere essenzialmente della stessa natura degli effetti; se B, secondo la catena degli effetti, produce A, allora B deve avere la stessa natura essenziale di A, e C di B, e così via. Perciò Z ha la stessa natura essenziale di A.

Ora i soli anelli della catena di cui abbiamo una conoscenza *diretta* sono i nostri propri pensieri e sensa-

zioni; noi sappiamo della esistenza e della natura degli anelli X, Y, Z solamente per deduzione — dagli effetti che trasmettono ai nostri spiriti attraverso i sensi. Berkeley, ritenendo che gli sconosciuti anelli X, Y, Z debbono essere della stessa natura degli anelli a noi prossimi, D, B, sosteneva che essi debbono avere la stessa natura delle idee o dei pensieri « poichè nulla è simile a un'idea tranne un'idea ». Un pensiero o idea non può esistere comunque, se non esiste la mente che la pensa. Noi possiamo dire che un oggetto esiste nel nostro spirito se noi ne abbiamo coscienza; ma questo non ci garentirà la esistenza dell'oggetto nel tempo in cui non abbiamo coscienza di esso. Il pianeta Plutone, per esempio, esisteva molto tempo prima che una mente umana ne avesse il sospetto, e ha testimoniato la sua esistenza su lastre fotografiche molto tempo prima che l'occhio umano lo vedesse. Considerazioni come queste condussero Berkeley a postulare uno Spirito Eterno, nella cui mente tutti gli oggetti esistono.

Nella magnifica e sonora eloquenza d'un secolo passato, il vescovo Berkeley riassumeva la sua filosofia nelle parole:

« Tutto il coro del cielo e gli ornamenti della terra, in una parola, tutti questi corpi che compongono la potente armatura del mondo, non hanno sostanza senza il pensiero... Finchè essi non sono percepiti in modo attuale da me, o finchè essi non esistono nella mia mente o in quella d'altro spirito creato,

essi non hanno esistenza alcuna, o sussistono per sè stessi nella mente di uno Spirito Eterno ».

La scienza moderna mi sembra condurre, per tutt'altra via, ad una conclusione non molto differente. La biologia, studiando la connessione tra i primi anelli della catena A, B, C, D, sembra s'incammini verso la conclusione che siano tutti della stessa fondamentale natura. Questo è, occasionalmente, stabilito nella forma specifica che, credendo i biologi che C, D siano fatti materiali e meccanici, anche A e B debbono essere meccanici e materiali; ma è altrettanto giustificato formulare questo risultato affermando che, essendo A, B atti dello spirito, anche C, D sono della stessa natura. La scienza fisica, curandosi poco di C e D, procede direttamente verso la fine della catena; il suo scopo è di studiare il comportamento di X, Y, Z. E, per quanto a me sembra, le sue conclusioni suggeriscono che l'ultimo anello della catena, sia che noi ci rivolgiamo al cosmo come un tutto, sia che ci rivolgiamo alla più interna struttura dell'atomo, sono della stessa natura di A e B — della natura del pensiero puro; noi siamo condotti alla conclusione di Berkeley, ma ci siamo arrivati dall'altro capo della catena. Quindi noi arriviamo all'ultimo delle tre alternative di Berkeley, e le altre ci appaiono, al confronto, senza importanza.

Non è da discutere se « oggetti esistano nella mia mente, o in quella d'altro spirito creato » oppure no;

la loro obiettività sorge dalla loro esistenza nella « mente di uno Spirito Eterno ». Questo può suggerire che noi ci siamo proposti di scardinare completamente il realismo, e di porre un idealismo assoluto al suo posto. Tuttavia questo, io penso, sarebbe una definizione troppo affrettata della situazione. Se fosse vero che la « reale essenza delle sostanze » è al di là della nostra conoscenza, allora la linea di demarcazione tra idealismo e realismo diventerebbe molto confusa; sarebbe poco più d'un relitto d'una età passata, in cui la realtà si identificava con un meccanismo.

La realtà obbiettiva esiste, perchè certe cose influiscono allo stesso modo sulla mia e sulla vostra coscienza; ma, assumendo qualcosa, noi non abbiamo diritto di presumere di chiamarla « reale » o « ideale ». La vera definizione è, io penso, « matematica » se noi ci accordiamo di designare così la totalità del pensiero puro, e non semplicemente gli studi del matematico per professione. Una tale definizione non deve implicare niente su quello che le cose sono, nella loro ultima essenza, ma semplicemente qualcosa del modo in cui si comportano.

La definizione non è stata scelta da noi per relegare la materia nella categoria delle allucinazioni o dei sogni. L'universo materiale rimane così sostanziale come già lo era; e questa affermazione deve, io penso, rimaner vera attraverso tutti i mutamenti del pensiero filosofico o scientifico.

Perchè sostanzialità è un concetto puramente mentale, che misura l'effetto diretto degli oggetti sui nostri sensi tattili. Noi diciamo che una pietra, un'automobile è sostanziale mentre un'eco o un arcobaleno non lo è. Questa è l'ordinaria definizione della parola, ed è una semplice assurdità, una contraddizione in termini, dire che pietre e automobili possono alla stessa maniera perdere il loro carattere sostanziale, perchè noi li associamo adesso con formole matematiche e pensieri, o nodi nello spazio vuoto, piuttosto che con una massa di particelle rigide. Si racconta che il dottor Johnson abbia espresso la sua opinione sulla filosofia di Berkeley, urtando con il piede una pietra, e dicendo: « No, signore, io la confuto in questo modo ». Questo piccolo esperimento non aveva naturalmente il più piccolo rapporto con il problema filosofiico che pretendeva di risolvere; esso dimostrava semplicemente la sostanzialità della materia. E, per quanto grandi siano i progressi della scienza, le pietre rimarranno corpi sostanziali, appunto perchè esse e la classe a cui appartengono formano il campione secondo il quale noi definiamo la qualità di sostanzialità.

E' stato osservato che il lessicografo avrebbe realmente confutato la filosofia di Berkeley se per caso egli avesse dato un calcio non in una pietra ma in un cappello, in cui un ragazzo avesse nascosto, per malizia, un mattone.

Noi diciamo che « l'elemento di sorpresa è sufficiente garanzia per la realtà esterna » e che « una seconda garanzia è la permanenza con il mutamento — permanenza nella vostra propria memoria, cangiamento nell'esteriorità ». Questo naturalmente va contro l'errore solipsista che « tutto sia una creazione della mia propria mente e non esista in altra mente », ma è difficile trovare nella vita qualchecosa che non confuti questo. L'argomento che si può trarre dalla sorpresa o da una nuova conoscenza in generale è impotente contro il concetto d'una mente universale, di cui la vostra mente e la mia, la mente che è sorpresa e quella che sorprende, sono unità o anche derivazioni. Ciascuna individuale cellula del cervello non può sapere tutti i pensieri che sono passati attraverso tutto il cervello.

Anche il fatto che noi non possediamo un riferimento assolutamente esterno con cui misurare la sostanzialità, non ci impedisce di dire se due cose hanno lo stesso grado, o gradi differenti di sostanzialità. Se in sogno do un calcio ad una pietra, probabilmente mi sveglierò con un dolore al piede, e scoprirò che la pietra del mio sogno era letteralmente una creazione della mia mente e di me soltanto, provocata da un impulso nervoso, originatosi nel mio piede.

Questa pietra può fornire il tipo della categoria delle allucinazioni o sogni; essa è naturalmente meno sostanziale di quella presa a calci da Johnson. Crea-

zioni d'una mente individuale possono essere con ragione chiamate meno sostanziali che le creazioni d'una mente universale. Una distinzione simile può esser fatta tra lo spazio, che noi vediamo in sogno, e lo spazio della vita d'ogni giorno: quest'ultimo, che è lo stesso per tutti, è lo spazio della mente universale. Lo stesso è del tempo, il tempo della veglia, che fluisce in ragione eguale per tutti, essendo il tempo della mente universale. Di più noi possiamo pensare che le leggi a cui i fenomeni si conformano nelle ore di veglia, le leggi naturali, sono le leggi del pensiero d'uno spirito universale.

L'uniformità della natura proclama la autoconsistenza (*selfconsistency*) di questo spirito.

Questo concetto dell'universo come un mondo di puro pensiero getta una luce nuova su diverse situazioni che noi abbiamo incontrato nella nostra rassegna della fisica moderna. Noi abbiamo visto adesso che l'etere, in cui tutti gli eventi dell'universo hanno un posto, può ridursi ad una astrazione matematica e diventa altrettanto astratto e matematico quanto i paralleli di latitudine e i meridiani di longitudine. Noi possiamo, così, vedere che l'energia, l'entità fondamentale dell'universo, deve essere anche considerata come un'astrazione matematica — la costante d'integrazione di un'equazione differenziale.

Il medesimo concetto implica, naturalmente, che la verità finale intorno a un fenomeno risiede nella

sua descrizione matematica; purchè non vi siano imperfezioni in questa, la nostra conoscenza del fenomeno è completa. Noi andiamo al di là d'una formola matematica a nostro rischio e pericolo; noi possiamo trovare un modello o un'immagine che ci aiuti a comprenderla, ma non abbiamo nessun diritto di pretendere una cosa simile, e il nostro insuccesso nel trovare un modello o una immagine non indica necessariamente che il nostro ragionamento o la nostra conoscenza siano sbagliati. Il creare modelli e pitture per spiegare formole matematiche e i fenomeni che esse descrivono, non è un passo in avanti, ma piuttosto indica un allontanarsi dalla realtà; è lo stesso come creare immagini scolpite di uno spirito. Ed è irragionevole aspettarsi che questi vari modelli siano conciliabili con un altro, come se ci si attendesse che le statue di Mercurio, rappresentanti il dio nelle sue varie attività — come messaggero, araldo, musico e così via — si rassomiglino. Alcuni dicono che Mercurio è il vento; se è così, tutti i suoi attributi sono contenuti nella sua descrizione matematica, che non è nè più nè meno che l'equazione di moto di un fluido compressibile. Il matematico conoscerà il modo di ritrarre fuori i differenti aspetti di questa equazione, che rappresenta la trasmissione e l'annunciazione di messaggi, la creazione di suoni musicali, il soffio che porta via le nostre carte, e così via. Egli difficilmente avrà bisogno delle statue di Mercurio per

pensare questo di lui, sebbene, se egli vuol servirsi delle statue, non ce ne vorrà meno di una fila completa, e tutte differenti. Alla stessa maniera i fisici matematici sono ancora occupati a creare immagini dei concetti della meccanica ondulatoria. In breve una formola matematica non può mai dirci che cosa è un oggetto, ma semplicemente come esso si comporta; può semplicemente specificare un oggetto con le sue proprietà. E queste sono poco probabilmente tali da coincidere *in toto* con le proprietà d'un singolo oggetto macroscopico della nostra vita quotidiana.

Questo punto di vista ci libera da alcune difficoltà o apparenti illogicità della fisica moderna. Noi non abbiamo più bisogno di discutere se la luce consta di particelle o di onde; noi sappiamo che tutto è conosciuto, se noi abbiamo trovato una formola matematica che descriva accuratamente il suo comportamento, e noi possiamo pensare che sia composta di particelle come di onde, secondo il nostro umore e la convenienza del momento.

Concependola modernamente come onde, noi possiamo, se ci piace, immaginare un etere che trasmetta le onde; ma questo etere varia di giorno in giorno; noi abbiamo visto che varierà ogni volta che cambia la velocità del nostro moto. Alla stessa guisa non abbiamo bisogno di discutere se il sistema di onde di un gruppo d'elettroni esiste in uno spazio a tre,

o a più dimensioni, o non del tutto. Esiste in una formola matematica; questo, e niente altro, esprime l'ultima realtà, e noi possiamo raffigurarla con onde di tre, sei o più dimensioni, come ci piace. Noi possiamo interpretarlo affermando che a queste onde non compete realtà alcuna; facendo così, noi seguiremo Heisenberg e Dirac. E' generalmente cosa semplicissima interpretarlo come rappresentante onde, proprio come è più semplice interpretare l'universo macroscopico come uno spiegamento d'oggetti in tre dimensioni soltanto, e i suoi fenomeni come uno svilupparsi d'eventi in quattro dimensioni, ma nessuna di queste interpretazioni possiede un valore unico e assoluto.

Da questo punto di vista, noi non troviamo, necessariamente, mistero alcuno nel contatto mobile delle nostre coscienze con la vuota bolla di sapone che noi chiamiamo spazio-tempo (p. 162) perchè esso si riduce al contatto tra lo spirito e la creazione dello spirito — come leggere un libro, o ascoltare una musica. E' probabilmente superfluo aggiungere che, guardando le cose in tal modo, l'apparente vastità e vuotezza dell'universo, e l'insignificante nostra sede terrena, non deve causarci nè meraviglia nè inquietudine. Noi non dobbiamo atterrirci dalle proporzioni delle costruzioni che la nostra mente ha creato, o da ciò che altri immaginano e descrivono per noi. Nella storia del du Maurier; Pietro Ibbetson e la duchessa

delle Torri continuano a costruire vasti palazzi di sogno e giardini di dimensioni sempre crescenti, ma non provano terrore alcuno per la grandezza delle loro creazioni mentali. L'immensità dell'universo diventa materia di soddisfazione piuttosto che di terrore; noi non siamo cittadini d'una città piccola. Noi non abbiamo neanche bisogno di confonderci di fronte alla finitezza dello spazio; noi non proviamo nessuna curiosità per quello che giace al di là delle quattro mura che limitano la nostra visione nel sogno.

Lo stesso è col tempo, che, come lo spazio, dobbiamo pensare di estensione finita. Se noi tracciamo il fluire del tempo all'indietro, noi incontriamo diversi indizi che ci dicono che dopo un lungo viaggio noi dobbiamo far ritorno alle nostre sorgenti, cioè ad un tempo prima del quale l'universo non esisteva. La natura impedisce il moto perpetuo delle macchine ed è *a priori* molto inverosimile che il suo universo ci fornisca un esempio, in grande scala, del meccanismo che essa ostacola. E uno studio dettagliato della natura conferma questo. La scienza della termodinamica spiega come ogni cosa in natura si trasformi in uno stato finale, per un processo, che è chiamato l'« aumento dell'entropia ». L'entropia deve sempre crescere: essa non può fermarsi finchè non è cresciuta tanto che non possa crescere più. Se questo stadio è raggiunto, progressi ulteriori saranno impossibili, e l'universo morirà. Così, a meno che que-

sto ramo della scienza sia sbagliato, la natura permette a sè stessa due alternative, e proprio due sole alternative, progresso e morte: la sola quiete che essa permette è il riposo nella tomba.

Alcuni scienziati, sebbene, credo, non molti, dissentiranno da questo modo di vedere. Mentre non hanno difficoltà ad ammettere che le stelle attuali si volatilizzano in radiazione, essi ritengono che negli spazi lontani, questa radiazione prenderà di nuovo consistenza, diventando materia.

Un nuovo cielo e una nuova terra, essi pensano, verranno creati nel processo, non dalle ceneri degli antichi, ma dalla radiazione, fatta libera nella combustione degli antichi. In questa maniera essi pretendono che l'universo possa essere rappresentato come un universo ciclico; mentre in una regione esso muore, in un'altra i prodotti della sua morte sono capaci di produrre vite nuove.

Questo concetto d'un universo ciclico è in contraddizione dal principio bene stabilito della seconda legge della termodinamica, che dice che l'entropia dell'universo deve sempre crescere, e che universi ciclici sono impossibili come è impossibile, nella stessa guisa e per la medesima ragione, il moto perpetuo meccanico. Che questa legge possa non valere sotto speciali condizioni astronomiche che non conosciamo, è concepibile; sebbene io penso che la maggioranza degli scienziati seri lo considereranno molto impro-

babile. Non è, però, da negare che l'idea d'un universo ciclico goda più popolarità. La maggioranza degli uomini trova la dissoluzione finale dell'universo così ripugnante come la dissoluzione della propria personalità, e l'aspirazione dell'uomo all'immortalità ha la sua contropartita macroscopica in queste aspirazioni più sofistiche ad un universo eterno.

Il punto di vista scientifico più ortodosso è che l'entropia dell'universo deve crescere sino al suo finale valore massimo. Non lo ha ancora raggiunto: noi non potremmo esser qui a pensare se questo fosse stato. Ma è rapidamente crescente, e così deve essere cominciata una volta; vi deve essere stata qualcosa che noi possiamo descrivere come una « creazione » in tempi non infinitamente remoti.

Se l'universo è un universo di pensiero, allora la sua creazione deve essere stata un atto del pensiero. Infatti la finitezza del tempo e dello spazio ci costringe, da sè, a raffigurare la creazione come un atto del pensiero; la determinazione di costanti come il raggio dell'universo e il numero d'elettroni che esso contiene implicano pensiero, la cui ricchezza è misurata dall'immensità di queste quantità. Tempo e spazio, che formano l'ordinamento del pensiero, devono aver avuto origine come parti di questo atto. Le primitive cosmologie raffigurano un creatore operante nello spazio e nel tempo, creante il sole, la luna e le altre stelle dal caos. La scienza moderna ci co-

stringe a pensare il creatore operante fuori dello spazio e del tempo, che sono parti della sua creazione, proprio come l'artista è al di là della sua tela. « Non in tempore, sed cum tempore, finxit Deus mundum ». Infatti la dottrina risale sino a Platone:

« Il tempo e i cieli sorsero nello stesso istante, in maniera che se debbono dopo dissolversi, dovranno dissolversi insieme. Tale era la mente e il pensiero di Dio nella creazione del tempo ».

E tuttavia, per il poco che comprendiamo della natura del tempo, possiamo forse paragonare la totalità del tempo all'atto della creazione, cioè la materializzazione dello spirito.

Può essere obiettato che tutto il nostro argomento è basato sull'ipotesi che l'attuale interpretazione matematica del mondo fisico è in qualche modo unica, e dovrebbe così dimostrarsi definitiva. Per riprendere la nostra metafora, può dirsi che descrivere la realtà come un giuoco di scacchi può essere solo una finzione conveniente; altre potrebbero descrivere il movimento delle ombre altrettanto bene. La risposta è che, per quanto è proceduta sino ora la nostra conoscenza, altre finzioni non potrebbero descriverlo così adeguatamente, così completamente, così semplicemente.

L'uomo che non sa giocare a scacchi dice: « Un pezzo di legno bianco, lavorato in modo da sem-

brare una testa di cavallo su di un piedistallo, è preso dal quadrato nero nel vicino angolo a destra e mosso verso... » e così via. Il giocatore di scacchi dice: « Bianco: Kt verso KB3 » e il suo modo di esprimersi non solamente spiega i movimenti pienamente e in breve, ma anche si riferisce a uno schema di cose più largo. Nella scienza, finchè la nostra conoscenza rimane incompleta, la più semplice spiegazione ha tanto più forza di convinzione quanto essa è più semplice. E se essa ha dei meriti oltre quelli della semplicità, essa ha la più alta probabilità di essere la vera spiegazione. Così mentre non si deve assolutamente ammettere che la spiegazione matematica possa dimostrarsi la più semplice nè la definitiva, noi possiamo senza esitazioni dire che essa è la più semplice e la più completa che abbiamo trovato, così che relativamente alla nostra attuale conoscenza essa ha la probabilità maggiore d'essere la spiegazione più vicina alla realtà.

Alcuni lettori possono non assentire, per il fatto che l'interpretazione matematica della natura ai nostri giorni sta a mezza via in rapporto ad una nuova interpretazione meccanica.

Le nostre menti moderne, io penso, hanno una inclinazione verso interpretazioni meccaniche. Questo in parte può essere dovuto alla nostra formazione scientifica precedente; in parte forse al fatto che noi vediamo ogni giorno oggetti che si comportano meccanicamente; una spiegazione meccanica sembra natu-

rale ed è facilmente compresa. Tuttavia, in un esame obiettivo della situazione, il fatto che più emerge sembra essere che la meccanica ha già tirato il suo dardo, e ha fallito in malo modo, così dal lato scientifico come da quello filosofico.

Se qualcosa è destinata a sostituire la matematica, sembrerebbe che fosse qualcosa di molto contrastante con la meccanica.

E' stato troppo spesso ripetuto che noi possiamo discutere queste questioni solo in termini di probabilità. L'uomo di scienza è abituato al rimprovero che gli si fa di cambiare le sue vedute ogni volta, con la conseguenza implicita che quel che dice non può esser preso troppo sul serio. Non è giusto disapprovare che, esplorando il fiume della conoscenza, egli discenda un affluente invece di continuare lungo la corrente principale; nessun esploratore può esser sicuro che un affluente è tale, e niente di più, finchè non l'abbia percorso. Ciò che è più serio e fuori del controllo dell'esploratore è che il fiume ha delle curve, ora ad Est ora ad Ovest.

A un certo momento l'esploratore dice: « Io vado con la corrente, e vado verso Ovest; l'oceano, che è la realtà, sembra dunque molto probabilmente stare ad Ovest ». E più tardi, se il fiume ha piegato ad Est, egli dice: « Mi sembra che la realtà sia ad Est ».

Nessuno scienziato, che sia vissuto negli ultimi trenta anni, può essere troppo dogmatico sul corso

futuro della corrente, o sulla direzione in cui giace la realtà: egli sa dalla sua propria esperienza che il fiume non solamente è molto largo, ma fa molti giri e, dopo alcune delusioni, egli rinuncia al pensiero d'essere ad ogni svolta, all'ultimo, in presenza del

mormorio e odore dell'oceano infinito.

Con questa cautela mentale, sembra assicurato, almeno, che il fiume della conoscenza ha fatto un netto giro negli ultimi pochi anni. Trenta anni fa, noi pensavamo, o facevamo l'ipotesi, che si procedesse verso una realtà d'indole meccanica. Essa sembrava consistere di salti casuali di atomi, che erano destinati a fare danze senza significato per un certo tempo sotto l'azione di forze cieche, e dopo ricader giù per fare un mondo morto.

In questo mondo interamente meccanico, tra il giuoco delle stesse forze cieche, la vita sarebbe venuta per caso. Un piccolo frammento, e possibilmente diversi piccoli frammenti di questo universo di atomi avrebbero avuto in sorte di diventare coscienti per un certo tempo, ma sarebbero stati alla fine destinati, sempre sotto l'azione di cieche forze meccaniche, a gelarsi e lasciare di nuovo il mondo senza vita.

Oggi si è generalmente d'accordo, e nel campo dei fisici quest'accordo raggiunge l'unanimità, che la corrente della conoscenza ci conduca innanzi a una realtà non meccanica; l'universo diventa molto più simile a

un grande pensiero che a una grande macchina. Lo spirito non appare più un intruso nel reame della materia; noi cominciamo a sospettare che possiamo salutare esso come il creatore e il governatore dell'universo materiale — naturalmente non i nostri spiriti individuali, ma lo spirito, in cui gli atomi, da cui i nostri spiriti individuali son derivati, esistono come pensieri.

La nuova conoscenza ci costringe a una revisione delle nostre prime rozze impressioni, che noi si fosse caduti in un universo che o non si interessa della vita o è attivamente ostile alla vita. L'antico dualismo di spirito e materia, che era principalmente responsabile della supposta ostilità, sembra probabilmente destinato a scomparire, non perchè la materia divenga in qualche modo un'ombra senza sostanza più di prima, o perchè lo spirito si risolva nell'azione della materia, ma perchè la materia sostanziale si risolve nella creazione e nella manifestazione della mente. Noi scopriamo che l'universo dà segni dell'esistenza di un potere che lo controlla e che ha qualche cosa in comune coi nostri spiriti individuali — non, per quel che abbiamo visto, emozione, moralità, o giudizio estetico, ma la tendenza a pensare nel modo che, per mancanza d'una parola migliore, noi definiamo come matematico. E mentre molto in esso può essere ostile ai materiali bisogni della vita, molto tuttavia è affine alle fondamentali attività della vita; noi

non siamo altrettanti estranei o intrusi nell'universo come abbiamo prima pensato. Questi atomi inerti nel fango primordiale che prima cominciarono ad assumere gli attributi della vita, si mettevano sempre più d'accordo con la fondamentale natura dell'universo.

Così noi, almeno, siamo tentati di congetturare, e tuttavia, chi sa quante svolte farà ancora la corrente della conoscenza! Con questo pensiero dentro di noi, noi possiamo concludere aggiungendo che — e questo può essere scritto fra le linee di ogni paragrafo — ogni cosa che è stato detta e ogni conclusione è stata proposta come un tentativo, ed è assolutamente speculativa ed incerta. Noi abbiamo tentato di discutere se la scienza d'oggi ha qualche cosa da dire su certe difficili questioni, che forse sono al di là della nostra comprensione. Noi non possiamo pretendere di avere scorto più di un debole lume, nella migliore ipotesi; forse tutto è illusorio, perchè certamente noi abbiamo sforzato gli occhi per vedere. Così ciò che si può discutere, adesso, è se la scienza ha ancora qualcosa da dire, o se piuttosto la scienza non possa più, forse, dire niente: il fiume della conoscenza si è troppe volte rivolto indietro, su sè stesso.